



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería en Organización Industrial

CARACTERIZACIÓN SUBJETIVA DE PAISAJES

SONOROS DE VALLADOLID

Autora:

Corral Gil, Lidia

Tutoras:

**Martín Bravo, M^a Ángeles
Machimbarrena Gutiérrez, María
Departamento de Física Aplicada**

Valladolid, noviembre 2018.

Quisiera agradecer este trabajo a todas las personas que han hecho posible la realización del mismo.

En primer lugar, a mis tutoras, M^a Ángeles Martín Bravo y María Machimbarrena, y también a Ana Isabel Tarrero, por su paciencia, ayuda y apoyo durante la realización del proyecto.

También quería agradecer a Daniel De la Prida, miembro del grupo de Investigación en Acústica Arquitectónica de la Universidad Politécnica de Madrid, por su ayuda y contribución en la realización del estudio. A Enrique Rodrigo, miembro del departamento de Urbanística de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la UVa, por su colaboración. Al Ayuntamiento de Valladolid por su aportación. Y a mi compañero Pablo Ruiz, quien ha colaborado para desarrollar este proyecto realizando parte del trabajo conmigo.

Por último, quería agradecer a mi familia y amigos por su apoyo durante la realización del trabajo.

Resumen

El objetivo del estudio es realizar una categorización del paisaje sonoro de la ciudad de Valladolid en base a parámetros psicoacústicos y analizar la posible correlación entre esta categorización y la que resulta utilizando los parámetros acústicos, viarios, de tráfico y arquitectónicos.

Para llevarlo a cabo, se ha realizado una primera categorización atendiendo a parámetros viarios, en base a ella se han seleccionado los puntos de grabación y se han realizado las grabaciones a partir de las cuales se han obtenido los parámetros psicoacústicos. Además, se han realizado las categorizaciones en base a parámetros acústicos, de tráfico y arquitectónicos para poder analizar las posibles correlaciones entre estos parámetros y los parámetros psicoacústicos.

El resultado es una clasificación de la ciudad de Valladolid atendiendo a parámetros psicoacústicos y las relaciones existentes entre los diferentes parámetros utilizados empleando para ello la agrupación en clústers. Además, se realiza un estudio de repetitividad con el objetivo de conocer si las grabaciones realizadas un día determinado son representativas de lo ocurrido en ese punto en otros períodos.

Palabras clave: Paisajes sonoros, parámetros psicoacústicos, grabación de sonido, clúster acústico.

ABSTRACT

The objective of the study is to categorize the soundscape of the city of Valladolid based on psychoacoustic parameters and analyze the possible correlation between this categorization and the one that results using acoustic, road, traffic and architectural parameters.

To carry it out, a first categorization has been carried out according to road parameters, based on it the recording points have been selected and the recordings have been made from which the psychoacoustic parameters have been obtained. In addition, categorizations have been made based on acoustic, traffic and architectural parameters in order to analyze the possible correlations between these parameters and the psychoacoustic parameters.

The result is a classification of the city of Valladolid according to psychoacoustic parameters and the existing relationships between the different parameters used, using cluster clustering. In addition, a repetitiveness study is carried out with the objective of knowing if the recordings made on a given day are representative of what happened at that point in other periods.

Keywords: soundscape, psychoacoustic parameters, sound recording, acoustic cluster.

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción y estado del arte.....	13
1.1. Ruido ambiental.	13
1.2. Antecedentes.....	14
2. Objetivos.....	17
3. Metodología.	19
4. Punto de partida.	23
4.1. Trabajo precedente.	23
4.2. Categorización en términos de parámetros viarios.	24
4.3. Puntos de grabación.....	27
4.4. Categorización en término de parámetros de tráfico.	28
4.5. Categorización en términos de parámetros arquitectónicos.....	29
5. Definición de parámetros acústicos y psicoacústicos.	31
5.1 Parámetros acústicos.....	31
5.2. Parámetros psicoacústicos.....	34
6. Instrumentación.....	47
6.1. Grabadora y micrófonos.....	47
6.2. Sonómetro.	48
7. Calibración del aparato de medida.....	51
8. Determinación de las condiciones de contorno.	55
9. Obtención de datos.....	57
9.1. Proceso de medición.	57
9.2. Puntos de grabación y recorridos realizados.	61
9.3. Resultados.	63
10. Cálculo de parámetros acústicos y psicoacústicos	69
10.1 Cálculo del valor de calibración.....	69
10.2. Cálculo del nivel de presión sonora (dB).	71
10.3. Cálculo del Loudness y Sharpness.....	77
10.4. Cálculo del Roughness y fluctuation strength.....	84
10.5. Comparación de resultados de MATLAB con los de otro programa de cálculo específico para parámetros acústicos (Brüel & Kjaer).....	84
10.6. Categorización en función de parámetros psicoacústicos.....	85
11. Protocolo de trabajo para la obtención de parámetros psicoacústicos.....	89
12. Resultados y análisis de resultados.	91

12.1. Características de la categorización en función de parámetros de tráfico y arquitectónicos.....	91
12.2. Análisis de las diferentes categorizaciones en base a parámetros psicoacústicos.....	94
12.3. Características de la categorización en función de parámetros psicoacústicos.....	101
12.4. Categorización en función del nivel de presión sonora (SPL).	103
12.5. Análisis de la relación entre las diferentes clusterizaciones.	104
12.5.1. Comparación de la categorización del nivel de presión sonora con la categorización de parámetros psicoacústicos.....	105
12.5.2. Comparación de la categorización de parámetros viarios con la categorización de parámetros psicoacústicos.....	107
12.5.3. Comparación de la categorización de parámetros de tráfico con la categorización de parámetros psicoacústicos.....	109
12.5.4. Comparación de la categorización de parámetros arquitectónicos y de tráfico con la categorización de parámetros psicoacústicos.	111
13. Estudio de repetitividad.	115
14. Conclusiones	131
15. Líneas futuras.....	135
16. Bibliografía.....	137

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los tipos de vía según el documento PIMUVA.	26
Tabla 2. Categorización de los parámetros viarios.....	27
Tabla 3. Distribución de los puntos de grabación.	28
Tabla 4. Categorización en función de parámetros de tráfico.	29
Tabla 5. Categorización en función de parámetros arquitectónicos y de tráfico.	30
Tabla 6. Lugares elegidos para realizar la toma de datos.	61
Tabla 7. Resultados correspondientes a la zona 1.	64
Tabla 8. Resultados correspondientes a la zona 2 (1º recorrido).	65
Tabla 9. Resultados correspondientes a la zona 2 (2º recorrido).	66
Tabla 10. Resultados correspondientes a la zona 3.	67
Tabla 11. Resultados correspondientes a la zona 4.	68
Tabla 12. Resultados del valor de calibración.	70
Tabla 13. Resultados del nivel de presión sonora parte I.	75
Tabla 14. Resultados del nivel de presión sonora parte II.	76
Tabla 15. Resultados de los percentiles del loudness parte I.	80
Tabla 16. Resultados de los percentiles del loudness parte II.	81
Tabla 17. Resultados de los percentiles del sharpness parte I.	82
Tabla 18. Resultados de los percentiles del sharpness parte II.	83
Tabla 19. Resultados del loudness y el sharpness con MATLAB y con Brüel y Kjaer.	85
Tabla 20. Características de la categorización en base a parámetros de tráfico.	91
Tabla 21. Características de la categorización en base a parámetros de tráfico y arquitectónicos.	92
Tabla 22. Resultados de la agrupación en 3 clústers.	94
Tabla 23. Resultados de la agrupación en 4 clústers.	96
Tabla 24. Resultados de la agrupación en 5 clústers.	97
Tabla 25. Resultados de la agrupación en 6 clústers.	99
Tabla 26. Resultados de la variable silhouette de las diferentes categorizaciones.	100
Tabla 27. Características de la categorización en base a parámetros psicoacústicos.	101
Tabla 28. Características de la categorización en función del SPL.	103
Tabla 29. Categorización en función de parámetros acústicos y psicoacústicos.	105
Tabla 30. Categorización en función de parámetros viarios y psicoacústicos.	107
Tabla 31. Categorización en función de parámetros de tráfico y psicoacústicos.	109
Tabla 32. Categorización en función de parámetros arquitectónicos-tráfico y psicoacústicos.	111

Tabla 33. Características de la categorización en función de parámetros psicoacústicos con 23 puntos de medida.	112
Tabla 34. Puntos de grabación utilizados para el estudio de repetitividad.	115
Tabla 35. Distribución de los puntos de medida utilizados en el estudio de repetitividad.	116
Tabla 36. Resultados de las mediciones realizadas en el estudio de repetitividad parte I.	116
Tabla 37. Resultados de las mediciones realizadas en el estudio de repetitividad parte II.	117
Tabla 38. Resultados de los percentiles del loudness en el estudio de repetitividad.	118
Tabla 39. Resultados de los percentiles del sharpness en el estudio de repetitividad.	119
Tabla 40. Factor de corrección A2	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Escala del umbral de audibilidad.	32
Figura 2. Curvas de sonoridad.	36
Figura 3. Curva de corrección del loudness.....	37
Figura 4. Curva de modelización del sharpness.....	39
Figura 5. Función del factor $g(z)$	40
Figura 6. Función de relación entre el roughness y el grado de modulación.....	42
Figura 7. Función de relación entre el roughness y la frecuencia de modulación.....	42
Figura 8. Función de relación entre el fluctuation strength y la frecuencia de modulación.....	44
Figura 9. Función de relación entre el fluctuation strength y el grado de modulación.	44
Figura 10. Función de relación entre el fluctuation strength y la frecuencia central.	45
Figura 11. Grabadora TASCAM DR 100 MK III con los micrófonos intraurales.	48
Figura 12. Sonómetro 01dB Solo Black Edition.	49
Figura 13. Escenario de realización de la calibración.....	52
Figura 14. Posición de la TASCAM y los micrófonos durante la grabación.	54
Figura 15. Tabla para la toma de datos en terreno.	58
Figura 16. Implementación del código “calibrator” en MATLAB.	71
Figura 17. Implementación del código “SPL_calc” en MATLAB para el oído izquierdo.	72
Figura 18. Implementación del código “calculation_loudness” en MATLAB 79	79
Figura 19. Variables para la realización del clustering en MATLAB.....	86
Figura 20. Pantalla del comando cidx_3.	87
Figura 21. Pantalla de comando s_3.....	88
Figura 22. Distribución de los puntos de medida en base a parámetros de tráfico. .	92
Figura 23. Distribución de los puntos de medida en base a parámetros de tráfico y arquitectónicos.	93
.....	93
Figura 24. Análisis radial de la categorización en base a parámetros de tráfico y arquitectónicos.	93
Figura 25. Representación de la agrupación en 3 clústers.	95
Figura 26. Representación de la agrupación en 4 clústers.	96
Figura 27. Representación de la agrupación en 5 clústers.	98
Figura 28. Representación de la agrupación en 6 clústers.	100
Figura 29. Distribución de los puntos de medida en base a parámetros psicoacústicos.....	102

Figura 30. Análisis radial de la categorización en base a parámetros psicoacústicos.	103
Figura 31. Distribución de los puntos de medida en base al nivel de presión sonora.	104
Figura 32. Distribución de los puntos de medida en función del nivel de presión sonora y de los parámetros psicoacústicos.....	106
Figura 33. Distribución de los puntos de medida en función de los parámetros viarios y psicoacústicos.	108
Figura 34. Distribución de los puntos de medida en función de los parámetros de tráfico y psicoacústicos.....	110
Figura 35. Distribución de los puntos de medida en base a parámetros psicoacústicos utilizando 23 puntos de medida.	112
Figura 36. Distribución de los puntos de medida en función de los parámetros arquitectónicos y psicoacústicos.....	113
Figura 37. Variación del loudness del registro 861.	121
Figura 38. Variación del sharpness del registro 861.	121
Figura 39. Representación radial del registro 861.	122
Figura 40. Variación del loudness del registro 1475.	123
Figura 41. Variación del sharpness del registro 1475.....	123
Figura 42. Representación radial del registro 1475.	124
Figura 43. Variación del loudness del registro 1142.	125
Figura 44. Variación del sharpness del registro 1142.....	125
Figura 45. Representación radial del registro 1142.....	126
Figura 46. Variación del loudness del registro 822.	127
Figura 47. Variación del sharpness del registro 822.....	127
Figura 48. Representación radial del registro 822.	128
Figura 49. Variación del loudness en el registro 983.	129
Figura 50. Variación del sharpness en el registro 983.....	129
Figura 51. Representación radial del registro 983.	130

1. Introducción y estado del arte.

1.1. Ruido ambiental.

El sonido es un fenómeno físico producido por la propagación de ondas mecánicas que generan la alteración de las partículas de un medio, generalmente el aire, y provocan una sensación auditiva, es decir, pueden ser percibidas por el oído humano.

Las vibraciones que se generan y transmiten por el medio y que tienen como magnitud perturbada la presión sonora se denominan ondas sonoras. Dichas ondas son absorbidas y reflejadas por los obstáculos con los que se encuentran, además son absorbidas por el medio por lo que se atenúan con la distancia.

El oído humano presenta un comportamiento no lineal con la presión sonora, se asemeja más a una función logarítmica. Este puede soportar sonidos comprendidos entre $2 * 10^{-5} Pa$ hasta $20 Pa$.

La parte de la física que se dedica al estudio de la propagación de las ondas sonoras y su análisis se denomina acústica.

Se entiende por ruido ambiental al sonido sin articulación que resulta molesto y que está vinculado al ambiente. El ruido ambiental excesivo produce contaminación acústica, la cual contribuye al deterioro de vida de las personas, además, tiene efectos nocivos en su salud. Un mismo ruido puede que sea considerado molesto o no dependiendo del receptor, del momento en el que se produce el ruido y de la exposición al mismo, entre otros factores. Por lo tanto, el paisaje sonoro depende de las fuentes sonoras que generan el sonido y de la percepción que la persona tiene sobre ellas.

Según la Organización Mundial de la Salud, la mitad de los europeos viven en zonas de gran contaminación acústica. El 40% está expuesto a niveles de ruido provocados por el tráfico que exceden los 55dB(A), mientras que el 20% soportan ruido por encima de los 65dB(A). [1]

Los efectos que tienen el ruido en la salud de las personas pueden ser fisiológicos o psicológicos.

Algunos de los efectos fisiológicos que podemos encontrar son:

- Disminución de la capacidad auditiva.
- Alteraciones del sistema digestivo.
- Alteraciones del sistema neurosensorial.
- Alteraciones del sistema cardiovascular.

- Alteraciones del sistema respiratorio.
- Alteraciones del sistema endocrino.

Algunos de los efectos psicológicos que pueden presentarse en las personas a causa del ruido son:

- Estrés.
- Irritabilidad.
- Falta de concentración.
- Disminución del rendimiento personal.
- Insomnio.
- Depresión.
- Ansiedad.
- Fatiga

Además de los mencionados anteriormente también pueden generar efectos sociales adversos, como problemas en la comunicación.

Todos estos problemas han generado una preocupación social que ha llevado en los últimos años a que surjan numerosas normativas que tratan de evaluar, vigilar y corregir los niveles de ruido, entre ellas cabe destacar la Directiva Europea 2002/49/CE [2]. De manera análoga se han desarrollado una serie de planes de acción con la finalidad de tratar las cuestiones de contaminación acústica estableciendo la estrategia a seguir para la reducción de dicha contaminación.

En consecuencia, se hace cada vez más evidente la necesidad de generar espacios sonoros agradables. Esto se puede llevar a cabo atendiendo a las características arquitectónicas y/o viarias que presentan las ciudades, ya que numerosos estudios [3][4] indican que estos factores están directamente relacionados con el nivel del ruido existente en un lugar. Por lo tanto, conociendo la relación que hay entre ellos se puede llevar a cabo acciones correctivas para mejorar los paisajes sonoros en las ciudades.

1.2. Antecedentes.

Hace años se empezó a entender la molestia generada por el ruido como suma de las fuentes sonoras que lo producen y la percepción que el individuo tiene sobre ellas, y con ello surgió la necesidad de estudiar la influencia de ambas. Así surgió el concepto de Paisaje Sonoro, o más conocido como Soundscape, el cual fue definido por R. Murray Schafer y su grupo de investigación en el “World Soundscape Project” [5] a finales de la década de los 60, con ello surgió toda una corriente que buscaba estudiar y profundizar en los aspectos psicoacústicos.

Se define el Paisaje Sonoro como el conjunto de sonidos que surgen de un entorno y son percibidos por el oído humano. Está determinado por las características del medio, la hora del día y la posición del individuo. En definitiva, el Paisaje Sonoro se centra en la parte estética, en cómo se perciben las fuentes sonoras.

El trabajo “World Soundscape Project” es un proyecto de investigación que supuso el inicio del estudio moderno en la ecología acústica. Fue impulsado por R. Murray Schafer, a finales de la década de los 60, quien preocupado por la contaminación acústica se dedicó a la grabación y estudio de los paisajes sonoros de Vancouver. Para ello utilizó la técnica de paseos sonoros.

Inicialmente, se publicaron dos pequeños ensayos, “The New Soundscape” [6] y “The Book Of Noise” [7], en los que se pretende concienciar sobre la contaminación acústica y el entorno sonoro cambiante de Vancouver, además de definir y establecer el concepto de Paisaje Sonoro.

Posteriormente en 1973, Murray publicó el ensayo “The Vancouver Soundscape” [8] en él se describen ejemplos de diseños acústicos buenos y malos de la ciudad de Vancouver. Debido al éxito de este trabajo, se realizó una gira por Canadá con el fin de grabar el paisaje sonoro y poder preservar los sonidos cambiantes con el tiempo y la industrialización de las ciudades.

Más tarde, se realizó una gira por pueblos de Europa con el fin de estudiar su paisaje sonoro que dio como resultado la publicación de “European Sound Diary” [9], donde se narra el viaje realizado y “Five Village Soundscapes” [10], en el cual se presenta un análisis profundo de los paisajes sonoros encontrados.

El trabajo de Schafer terminó con el texto “The Tuning of the world” [11] en 1977, que junto con la publicación de Barry Truax “Handbook for Acoustic Ecology” [12] en 1978, se completó el proyecto original, el cual sirvió de base para posteriores trabajos y abrió todo un campo de estudio relacionado con la ecología acústica. El proyecto intentó proporcionar las primeras herramientas para el análisis del paisaje sonoro y definió numerosos términos relacionados con la acústica, psicoacústica y acústica ambiental.

Posteriormente, varios autores se dedicaron al estudio de los paisajes sonoros de diversas ciudades. Todos ellos centrados en el estudio de las relaciones entre el individuo y el entorno sonoro. Uno de ellos fue Michael Southworth, quien en 1969 analizó el paisaje sonoro de Boston [13]. En 1974, Hildegard Westerkamp estudió la técnica del paseo sonoro con el fin de establecer una metodología para su análisis, y posteriormente, en 1994, analizó los paisajes sonoros de Brasilia y Nueva Delhi con el fin de poder comparar ambas ciudades.

En los últimos años, se han seguido realizando estudios de los paisajes sonoros de las ciudades y de la influencia de los parámetros psicoacústicos para definir

el patrón sonoro de una ciudad, ya que cada vez es más evidente que los parámetros acústicos tradicionales no son suficientes para describir el paisaje sonoro de una ciudad. El ejemplo más claro es el estudio realizado en Madrid [14], llevado a cabo por Daniel de la Prida entre otros, en el que se estudia la influencia de los parámetros psicoacústicos.

El estudio, “Paisaje sonoro Urbano “Soundwalk” como método de análisis” [15], llevado a cabo en Córdoba (Argentina) y publicado en la revista Pensum, también utiliza la técnica del soundwalk (o paseos sonoros), con el fin de analizar las variables que influyen en la caracterización acústica del paisaje urbano.

También se han llevado a cabo estudios con el fin de analizar la molestia causada por el ruido utilizando un método diferente al del análisis del paisaje sonoro. Ejemplo de ello es el estudio “Percepción de ruido por los ciudadanos: Relaciones dosis-efecto y coste-beneficio” [16], en él se realizan entrevistas a los ciudadanos para hallar la relación entre los niveles de ruido y la molestia generada.

En 2002, la Directiva 2002/49/CE del parlamento Europeo [2] pone de manifiesto la necesidad de actuar contra la contaminación acústica y hace referencia a la necesidad de hacer estudios psicoacústicos para evaluar la molestia generada por el ruido. Además, han surgido otras normativas como la ISO 12913 [13] en la que se define el paisaje sonoro.

En la actualidad, los estudios acústicos más habituales en las ciudades se limitan a la realización de mapas de ruido [17], estos consisten en una representación cartográfica de los niveles de presión sonora existentes en una determinada zona.

No hay una metodología estandarizada para el análisis de la molestia causado por el ruido por eso cada autor ha llevado a cabo su propia metodología, y de aquí la gran importancia de investigar en este campo para conseguir contrastar diferentes métodos e intentar llegar a una metodología que se pueda aplicar con carácter general.

2. Objetivos.

El campo de la psicoacústica es un ámbito que todavía queda por explorar. Tradicionalmente, la mayor parte de los estudios que se han hecho en las ciudades relativos a la acústica se centran en parámetros objetivos para la categorización de estas, pero dichos parámetros no son capaces de mostrar realmente la molestia causada por el ruido. Así, entran en juego los parámetros psicoacústicos, capaces de relacionar la percepción que se tiene de un determinado ruido y las características de este.

En la actualidad, algunas ciudades ya se han adentrado en el campo de la psicoacústica realizando ciertos estudios con el fin de analizar los paisajes sonoros y categorizar la ciudad para mejorar las características acústicas, como es el caso de Madrid y Málaga, explicados anteriormente.

En Valladolid, no hay ningún estudio basado en los parámetros psicoacústicos de este trabajo, de aquí la importancia de los resultados que se obtengan. Por todo esto, este trabajo pretende ser un primer acercamiento hacia el estudio y análisis de la ciudad basándose en parámetros subjetivos.

El objetivo principal del presente trabajo es realizar una categorización de la ciudad de Valladolid en base a parámetros psicoacústicos, buscando la mejor clasificación de los paisajes sonoros atendiendo a dichos parámetros.

También se analizarán las correlaciones existentes entre parámetros viarios, de tráfico y arquitectónicos con parámetros psicoacústicos además de la relación entre los clústers acústicos y psicoacústicos.

Otra finalidad es establecer un protocolo de trabajo a seguir en posteriores estudios de este tipo.

Además, se va a realizar un estudio de repetitividad con el objetivo de conocer si las muestras de ruido tomadas en un día determinado son representativas.

Para la consecución de los objetivos establecidos se necesita llevar a cabo los pasos siguientes:

- Analizar y clasificar la ciudad en base a parámetros viarios, de tráfico y arquitectónicos.
- Realizar y procesar las grabaciones sonoras para la obtención de los parámetros psicoacústicos.
- Analizar y clasificar los paisajes sonoros en base a los parámetros psicoacústicos.
- Comparar las distintas clasificaciones realizadas en búsqueda de correlaciones.

Para alcanzar los objetivos establecidos, el estudio se realiza con la ayuda de mi compañero Pablo Ruiz, quien realiza alguna de las partes del trabajo llevado a cabo.

3. Metodología.

La metodología a seguir para la realización de este estudio tiene como base otros estudios anteriores, especialmente en el estudio de “Caracterización subjetiva de Paisajes Sonoros de Madrid” [12], al que nos hemos referido anteriormente. Este estudio se ha utilizado de guía debido a que no hay una estandarización de la metodología a seguir en estudios de este tipo. En este análisis se realizó algo análogo a lo que se va a realizar en este estudio, se realizó una caracterización de las calles de la ciudad en base a parámetros arquitectónicos, para posteriormente compararla con la caracterización en base a parámetros psicoacústicos.

Como se ha mencionado anteriormente, este estudio se lleva a cabo junto con la colaboración de Pablo Ruiz García, quien realiza en su TFG “Clasificación y análisis de Paisajes Sonoros de las calles de Valladolid” [18] lo que es el punto de partida para la “Caracterización subjetiva de Paisajes Sonoros de Valladolid”, que es el tema de este Trabajo Fin de Grado.

Lo pasos que se han seguido en la realización de dicho estudio se exponen a continuación:

Iniciación:

- Se ha planificado una metodología conjuntamente con Daniel de la Prida para establecer los puntos clave del estudio a llevar a cabo.
- Se plantea el estudio a realizar y el reparto de tareas, ya que es un estudio extenso se decide dividirlo en dos TFG:
 - “Clasificación y análisis de Paisajes Sonoros de las calles de Valladolid”, realizado por Pablo Ruiz. En él se ha realizado un análisis y clasificación atendiendo a parámetros viarios y en base a ellos se establecen los puntos de medida en los que se van a realizar las grabaciones sonoras. También, se realiza una categorización en función de parámetros de tráfico y arquitectónicos [18].
 - “Caracterización subjetiva de Paisajes Sonoros de Valladolid”, lo que constituye el presente trabajo. En él se van a calcular y analizar los parámetros acústicos y psicoacústicos. Así como la realización de la categorización en base a parámetros acústicos y psicoacústicos.

- La toma de medidas experimentales es realizada por Pablo Ruiz y Lidia Corral conjuntamente ya que este proceso requiere de dos personas y son necesarias para ambos Trabajos Fin de Grado.

Desarrollo:

- Para este TFG se ha partido del trabajo realizado por Pablo Ruiz, en el que se hace una clasificación de las calles de Valladolid en función de parámetros arquitectónicos por un lado, y en función de parámetros viarios por otro. En el presente estudio se presenta un resumen de lo llevado a cabo en su trabajo. Además, también se tienen los puntos dónde han de realizarse las grabaciones.
- Se realiza un estudio acerca de los conceptos de acústica y psicoacústica que se van a tratar. Se investiga acerca de su historia, desarrollo y de los autores que los han definido. En especial se tratan los conceptos de nivel de presión sonora, loudness y sharpness; también se tratan, aunque con menos desarrollo, los conceptos de roughness y fluctuation strength; por último también se consideran algunos conceptos más de acústica utilizados tradicionalmente para la medida del nivel de ruido.
- Se lleva a cabo una familiarización con los equipos necesarios en la realización del estudio. Se va a necesitar una grabadora y unos micrófonos intraurales para la realización de las medidas de campo. También será necesario un sonómetro para el proceso de calibración de la grabadora. Se estudian sus funciones y utilidades para hacer un buen uso de ellos.
- Se realiza la calibración de los aparatos de medida. Para asegurar el correcto funcionamiento de la grabadora TASCAM y de los micrófonos es necesaria su calibración. Este proceso se realiza en una cámara semianecoica.
- Se analizan y establecen de las condiciones de contorno para la toma de datos. Antes de realizar las grabaciones es necesario definir cuáles van a ser las condiciones en las que se realicen, en esta etapa se realiza dicho análisis.
- Se realizan las medidas de campo. Se lleva a cabo la toma de medidas en los lugares establecidos. Este proceso se realiza con la colaboración de Pablo Ruiz.

- Se calculan los parámetros acústicos y psicoacústicos. Para ello se utiliza el programa MATLAB por lo que antes de comenzar con el cálculo de dichos parámetros será necesario una familiarización con el programa de cálculo y el estudio de sus funciones. Una vez familiarizados con el programa se calcularán los parámetros anteriores.
- Se realiza la categorización en función de parámetros psicoacústicos. Este proceso se ha realizado con la ayuda de MATLAB, para lo cual será necesario el análisis del funcionamiento de dicha función en el programa.
- Se establece un protocolo para la obtención de parámetros psicoacústicos.
- Se lleva a cabo un análisis de los resultados:
 - La categorización en función de parámetros psicoacústicos en busca de las conclusiones que pudieran derivar de ellos.
 - De la relación entre los parámetros acústicos y los parámetros psicoacústicos calculados con el fin de buscar correlaciones entre ellos.
 - De la comparación de la clasificación en función de parámetros psicoacústicos con la clasificación en función de parámetros viarios y de tráfico; y con la clasificación en función de parámetros arquitectónicos. Se buscan similitudes y diferencias y se exponen las conclusiones que derivan de ellas.
- Se realiza un estudio de repetitividad con el objetivo de observar si hay una estabilidad en los parámetros psicoacústicos. Para ello se vuelven a realizar grabaciones y se realiza el procesado de las mismas y el posterior análisis de resultados.
- Se obtienen las conclusiones que derivan de todo el trabajo conjunto expuesto. Además de analizar si se han conseguido los objetivos establecidos en el punto de partida.
- Se exponen las propuestas de las líneas a seguir para la ampliación del estudio realizado.

4. Punto de partida.

4.1. Trabajo precedente.

Como se ha comentado anteriormente este TFG se ha realizado en conjunto con otro, el cual supone el punto de partida del presente trabajo. Esto se debe a la densidad del estudio llevado a cabo.

En el trabajo “Clasificación y análisis de Paisajes Sonoros de Valladolid” [18], realizado por Pablo Ruiz, se realiza una clusterización de partida, en función de parámetros viarios, y posteriormente, una vez seleccionados los puntos de medida, otras dos categorizaciones, una de ellas en función de parámetros de tráfico y la otra atendiendo a parámetros arquitectónicos. Todo ello con el fin de poder comparar dichas categorizaciones con la realizada en base a parámetros psicoacústicos para poder buscar correlaciones entre ellas.

En el trabajo de Pablo Ruiz las líneas seguidas son las siguientes:

- En primer lugar, se parte de datos relativos a parámetros viarios de la ciudad de Valladolid proporcionados por el Ayuntamiento. Tras un análisis de ellos se realiza una primera categorización.
- En segundo lugar, tomando como base la categorización realizada se seleccionan los puntos de medida, un total de 42 puntos donde se van a realizar las mediciones (grabaciones sonoras, conteo del nº de coches, motos y camiones) para el posterior cálculo de parámetros psicoacústicos.
- A continuación, con los datos de tráfico tomados en cada punto de medida se realiza una nueva categorización.
- Por último, se analizan las características arquitectónicas de los puntos exactos en los que se realizan las mediciones y en base a ellas y a los parámetros de tráfico se realiza otra categorización.

Como ambos TFG son parte del mismo estudio presentan puntos en común. Toda la parte de calibración de los instrumentos de medida y realización de las medidas de campo se realiza conjuntamente. Además, aunque cada trabajo desarrolla diferentes líneas a seguir durante el estudio, las conclusiones de ambos son las mismas, ya que el fin de este estudio es llegar al análisis y clasificación de la ciudad en funciones de parámetros psicoacústicos y compararlo con la clasificación en función de otros parámetros con los que pudiera tener relación y que se han estudiado previamente.

4.2. Categorización en términos de parámetros viarios.

Los datos con los que se trabaja para la realización del análisis en función de parámetros viarios son facilitados por Enrique Rodrigo González, miembro del Instituto Universitario de Urbanística y profesor de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura (ETSA) de Valladolid. Estos datos se extraen de un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Un Sistema de información Geográfica (SIG) [19] es una herramienta que funciona como una base de datos con información geográfica. Es capaz de almacenar, integrar, analizar y compartir la información geográficamente referenciada con el fin de resolver complejos problemas de planificación y gestión.

La ventaja de utilizar los Sistemas de Información Geográfica es poder manejar la información de manera más intuitiva y objetiva posible, sobre todo cuando se maneja un volumen muy grande de información. Esto se debe a que el sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas para poder trabajar con ellas independientemente y además ofrece la posibilidad de relacionar la información existente para crear otra nueva que no se puede obtener de otra manera.

Un SIG está compuesto por los siguientes componentes:

- Hardware.
- Software.
- Datos que utiliza.

Los Sistemas de Información Geográfica realizan tareas como almacenamiento y codificación de datos, visualización de datos, tratamiento de información, análisis, modelización y toma de decisiones. Además lo SIG se pueden utilizar en campos muy diversos como puede ser las investigaciones científicas, la gestión, el marketing, la logística y todo el mercado empresarial.

En este caso, se va a utilizar los SIG para extraer datos de los parámetros viarios de la ciudad de Valladolid con lo que poder realizar una primera categorización. La información de la que se parte es la siguiente:

- Un plano de Valladolid etiquetado con el código de cada una de las vías.
- Un fichero llamado “VIARIO_Jerarquia”. En él se encuentra la información relativa a las calles de Valladolid. Los apartados utilizados en este estudio son:
 - FID: es un número que identifica cada registro.

- TIPOVIA: indica el tipo de vía de la que se trata.
- DESAYTO: es el nombre que se da a cada registro.
- TIPOAYTO: es la clasificación que el Ayuntamiento hace de cada registro. Pueden ser calles, plazas, avenidas, etc.

La categorización se va a hacer en base al dato "TIPOVIA". Los tipos de vía se definen en el Plan Integral de Movilidad Urbana de Valladolid (PIMUVA) [20]. Este plan está destinado a establecer los principios y objetivos relativos a la movilidad en la ciudad de Valladolid, así como su planificación y gestión a la hora de llevarlos a cabo. En él se establece una clasificación del tipo de vías existentes dependiendo de sus características.

Los tipos de vías que aparecen en el archivo de datos con el que se ha trabajado son los siguientes:

- Inexistente: No se clasifican en ninguno de los tipos existentes.
- Interurbano de baja capacidad: vía interurbana con origen o destino en la ciudad o que circule por la ciudad y que presenta un carril por sentido y las intersecciones a nivel.
- Interurbano de alta capacidad: vía interurbana con origen o destino en la ciudad o que circule por la ciudad, se caracteriza por tener 2 carriles o más por sentido y las intersecciones a distinto nivel.
- Vías colectoras - arterias: tráfico de corto alcance que solo circula por la ciudad, es un tipo de vía que sirve para complementar a la red primaria canalizando el viario urbano hacia las vías locales.
- Vías locales peatonales o de coexistencia: tráfico de corto alcance que solo circula por la ciudad, se caracteriza por ser zonas donde coexisten peatones y vehículos con velocidad moderada.
- Vías locales segregadas: tráfico de corto alcance que solo circula por la ciudad, presentan zonas divididas para el uso de vehículos y de peatones.
- Vías principales - avenidas: se clasifican dentro del viario urbano principal, son prolongaciones urbanas de los principales accesos.
- Vías y espacios peatonales: se destinan únicamente al uso de peatones.

En la Tabla 1 se puede ver la clasificación de las vías y las características principales que las definen establecidas en el documento PIMUVA, tabla extraída del “Plan Integral de Movilidad Urbana de la Ciudad de Valladolid”.

Tabla 1. Clasificación de los tipos de vía según el documento PIMUVA.

PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN FUNCIONAL DEL VIARIO URBANO						
Tipo de vía	Sección Geométrica mínima	Organización de intersecciones	Condiciones de aparcamiento	Vel. máxima (Km/h)	Circulación Peatones Cruces	Tráfico predominante de vehículos
VIARIO INTERURBANO						
1. De alta capacidad	2 carriles/sentido	A distinto nivel	Prohibido	100-120	Prohibida	Medio, largo y en tránsito
2. De baja capacidad	1 carril/sentido	A nivel	Prohibido	80-100	Prohibido	Medio, largo y en tránsito
VIARIO URBANO						
1. PRINCIPAL						
1.1. Autovías urbanas	2 carriles/sentido	Preferentemente a distinto nivel	Prohibido	60-80	Limitada	Tránsito
1.2. Avenidas	2 carriles/sentido con mediana	A nivel, semaforizado o glorieta. A distinto nivel por tráfico. Concentración de giros a la izquierda	Prohibido sólo permitida en vías de servicio	60	Canalizado en pasos semaforizados	Medio y largo recorrido. Presencia de tráfico en tránsito
2. COLECTORA (ARTERIAS)	2 carriles por sentido. Excepcionalmente 1 carril/sentido en ejes de dos sentidos	A nivel. Semaforizadas en los cruces principales. Giros a la izquierda permitidos	Admitido en línea. Excepcionalmente en batería.	30-60	Canalizados en pasos no semaforizados necesariamente	Medio y corto recorrido
3. LOCAL						
3.1. Segregado	1 carril por sentido	A nivel no semaforizadas	En línea o batería	30	En general, cruces no canalizados	Local
3.2. De coexistencia	Sentido único 1 carril	A nivel no semaforizadas	En general no se admite	10-20	Coexistencia con tráfico de vehículos	Local pero de escasa entidad
4. PEATONALES					Exclusiva	Excepcionalmente tráfico de acceso a garajes o de carga y descarga

Atendiendo a los datos del tipo de vía se obtiene la siguiente categorización¹:

Tabla 2. Categorización de los parámetros viarios.

CLÚSTER	TIPO DE VIA
1	Vías locales segregadas
2	Vías colectoras - arterias
3	Vías principales

Se selecciona esta categorización debido a que el tráfico va a ser un factor importante a la hora de estudiar el paisaje sonoro por lo que las grabaciones han de hacerse en los tipo de vía en los que este esté presente. Además, estos tres tipos son los que presentan un mayor número de vías, junto con las vías locales peatonales o de coexistencias, las cuales se han incluido en el grupo de vías locales segregadas debido a que presentan características parecidas. El resto de vías no se han considerado, debido a que son vías peatonales o vías interurbanas que no tienen mucha presencia dentro de la ciudad (apenas un 2%).

4.3. Puntos de grabación.

Para la selección de los puntos de medida se divide la ciudad de Valladolid en 4 zonas y en cada una de ellas se eligen puntos de medida que pertenecen a los tres clúster definidos en función de parámetro viarios. A su vez, el Ayuntamiento de Valladolid tiene dividida la ciudad en 12 distritos, por lo que también se ha intentado que haya puntos de medida en todos los distritos posibles para que las medidas sean representativas de toda la ciudad².

Se selecciona un total de 42 puntos de grabación que se dividen de la siguiente manera:

¹ Ver documento "Clasificación y análisis de paisajes sonoros de Valladolid" [18] para conocer más sobre la realización de la categorización en función de parámetros viarios.

² Ver documento "Clasificación y análisis de paisajes sonoros de Valladolid" [18] para conocer más sobre la selección de los puntos de grabación.

Tabla 3. Distribución de los puntos de grabación.

ZONA	DISTRITO	CLÚSTER VIARIO	Nº PUNTOS ELEGIDOS	
1	8	Clúster 1	2	
		Clúster 2	2	
		Clúster 3	-	
	9	Clúster 1	1	
		Clúster 2	1	
		Clúster 3	-	
2	1	Clúster 1	4	
		Clúster 2	5	
		Clúster 3	-	
	5	Clúster 1	4	
		Clúster 2	2	
		Clúster 3	-	
	9	Clúster 1	Clúster 1	5
			Clúster 2	-
			Clúster 3	-
		2	Clúster 1	1
			Clúster 2	-
			Clúster 3	-
3	2	Clúster 1	2	
		Clúster 2	-	
		Clúster 3	1	
	3	Clúster 1	2	
		Clúster 2	2	
		Clúster 3	-	
	4	Clúster 1	1	
		Clúster 2	1	
		Clúster 3	-	
4	10	Clúster 1	3	
		Clúster 2	3	
		Clúster 3	3	

4.4. Categorización en término de parámetros de tráfico.

El clúster en función de los datos de tráfico se calcula tras realizar las mediciones con los datos que se han obtenido del tráfico rodado en cada punto. Se utiliza sólo el número de coches, ya que una vez obtenidos los datos, se llega a la conclusión de que es la principal fuente de ruido y en algunos casos el número de motos o vehículos pesados es cero.

Se seleccionan 3 clústers para facilitar la comparación con el clúster de partida³ el cual se ha realizado en 3 clústers.

Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 5:

Tabla 4. Categorización en función de parámetros de tráfico.

FID	CLÚSTER ASIGNADO	FID	CLÚSTER ASIGNADO
88	1	637	2
1107	1	283	2
520	1	293	2
71	1	69	2
370	1	73	2
953	2	922	3
984	2	950	3
861	2	942	3
1010	2	965	3
1475	2	1142	3
822	2	1145	3
1080	2	521	3
1051	2	1092	3
1007	2	1058	3
983	2	1063	3
982	2	986	3
1295	2	422	3
523	2	425	3
823	2	282	3
798	2	68	3
1654	2	66	3

Estos son los datos de partida, el estudio de resultados y las conclusiones que se deriven de ellos se harán en el apartado “Resultados y análisis”.

4.5. Categorización en términos de parámetros arquitectónicos.

Para la realización de una clasificación en función de las características arquitectónicas se utilizan los parámetros de la anchura de la calle, la anchura del viario y la altura media, que es la media de altura del edificio de delante y del de detrás, en el caso de que hubiera a ambos lados, de los puntos exactos

³ Ver documento “Clasificación y análisis de paisajes sonoros de Valladolid” [18] para conocer más sobre la categorización en función de parámetros de tráfico.

donde se realizan las mediciones, para ello se han anotado las coordenadas exactas de cada punto.

Con estos parámetros, calculados gracias a la ayuda de “Google Earth Pro” junto con la variable del tráfico, calculada en las medidas de campo, se realiza la categorización.

La variable del tráfico se tiene en cuenta a la hora de realizar la categorización debido a que es la principal fuente de ruido y, por tanto, se ha de considerar porque aunque se tengan características arquitectónicas similares si esta variable es muy dispar las características psicoacústicas van a ser muy diferentes.

Teniendo en cuenta estos parámetros y seleccionando 3 clústers se obtienen los resultados presentados en la tabla 4, en ella aparece el “FID”, que es la identificación del registro y el clúster al que ha sido asignado⁴.

Se decide clasificarlo en 3 clúster porque es el número de clúster que se ha seleccionado para realizar la clusterización viaria y así facilitar su comparación. Además, sólo se tienen en cuenta 23 de los registros, los cuales son los que presentan edificios a ambos lados de la calzada.

Tabla 5. Categorización en función de parámetros arquitectónicos y de tráfico.

FID	CLÚSTER ASIGNADO	FID	CLÚSTER ASIGNADO
983	1	523	2
370	1	922	3
984	1	1142	3
283	1	1145	3
520	1	1092	3
71	1	1058	3
861	2	1063	3
822	2	422	3
1080	2	425	3
798	2	282	3
1010	2	942	3
1475	2		

⁴ Ver documento “Clasificación y análisis de paisajes sonoros de Valladolid” [18] para conocer más sobre la categorización en función de parámetros arquitectónicos.

5. Definición de parámetros acústicos y psicoacústicos.

5.1 Parámetros acústicos.

Tradicionalmente se han usado los parámetros acústicos para el análisis del ruido. El impacto que tiene el ruido depende de la energía total recibida, la rapidez con la que ocurre y su magnitud, por eso, hasta ahora, se han utilizado parámetros que calculan estas características. Los parámetros más utilizados en acústica ambiental son los siguientes:

- Nivel de presión sonora equivalente (L_{eq}).
- Nivel de exposición sonora (SEL).
- Niveles estadísticos o percentiles (L_n).
- Niveles de pico (L_{max})
- Índice día - noche (L_{d-n})
- Índice mañana - tarde - noche (L_{den}).

El uso de estos parámetros como medida del ruido ambiental está determinado por el Real Decreto 1513/2005 [21] y en el desarrollo de Ley 37/2003 del 17 de noviembre [22], referente a la determinación de índices acústicos.

Nivel de presión sonora equivalente (L_{eq})

El nivel de presión sonora mide la variación de la presión en la atmósfera y determina la intensidad del sonido generada por dicha presión, la cual depende de la fuente, el entorno y la distancia entre la fuente y el receptor. La variación de presión es la que llega al oído y produce la sensación de oír. El nivel de presión sonora en un determinado punto y en un momento concreto es lo que miden los aparatos de medida como los sonómetros.

La presión se mide en Pascales y las variaciones de presión audibles se encuentran en un rango entre $20\mu Pa$ y $200 Pa$. Como es un rango muy amplio y poco práctico el nivel de presión sonora se mide en decibelios, la cual es una unidad adimensional y relativa que toma como referencia $20\mu Pa$ en el caso del aire. Además, el decibelio es una unidad que se representa en forma logarítmica y por lo tanto se asemeja más al comportamiento del oído. El umbral de audición se encuentra entre 0 y $120 dB$, siendo 120 el valor donde se encuentra el umbral de dolor, en el que el sonido puede producir daños en el oído.

En la siguiente figura se puede ver el umbral de audibilidad del oído humano y su equivalencia en Pascales y decibelios.

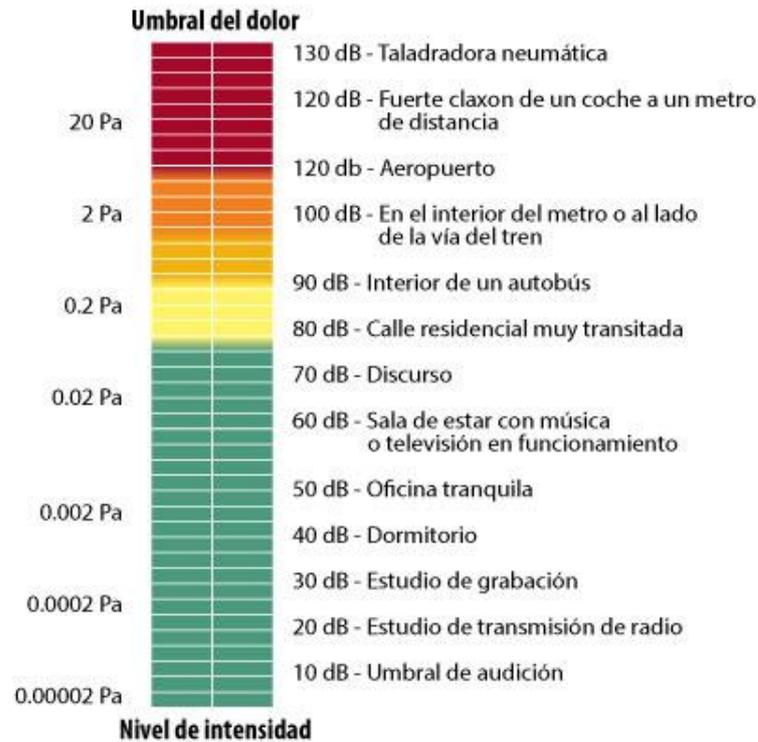


Figura 1. Escala del umbral de audibilidad [23].

El nivel de presión sonora equivalente es el nivel de presión sonora que mantenido constante en todo el período de medida tiene la misma energía acústica que el sonido variable real para el mismo período. Este indicador se utiliza debido a que el sonido no permanece constante a lo largo de todo el período, sino que varía con el tiempo. Este indicador es el que se encuentra en las normas de medida de ruido (UNE-ISO 1996-2:2009) y se puede medir con un sonómetro-integrador, que es capaz de promediar la presión sonora a lo largo del tiempo.

La fórmula para calcular el nivel de presión sonora equivalente es la siguiente:

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_{ref}^2} dt$$

Donde T es el tiempo de medida y $P_{ref} = 20 \mu Pa$.

En la práctica se utiliza el nivel de presión sonora equivalente ponderado A (L_{Aeq}), la curva de ponderación A es la que se aproxima a la audición de baja sensibilidad y es la más utilizada por ser la que más protege contra la agresión del ruido.

Aunque el estudio llevado a cabo en este trabajo está enfocado al análisis y cálculo de los parámetros psicoacústicos también se va a calcular el valor del nivel de presión sonora.

Nivel de exposición sonora (SEL)

El nivel de exposición sonora es el nivel sonoro que para 1 segundo tiene la misma energía que el sonido variable real.

Este indicador permite comparar la energía de dos eventos de distinta duración y es muy útil para medir ruidos aislados de corta duración.

La fórmula que permite hallar el nivel de exposición sonora es:

$$SEL = 10 \log \int_{t_1}^{t_2} \frac{p^2(t)}{p_{ref}^2} dt$$

Donde t_1 es el instante en el que comienza el evento ruidoso, t_2 el instante en el que termina y $P_{ref} = 20 \mu Pa$.

Niveles estadísticos o percentiles

Los percentiles, L_n , indican el valor por encima del cual ha estado el nivel de presión sonora el n% del período de medida.

Los niveles estadísticos permiten tener una idea de las variaciones de sonido a lo largo del tiempo de medida.

Los más utilizados son:

- L_{90}, L_{95}, L_{99} : indican el ruido de fondo, ya que indican valores que se han superado durante un mayor porcentaje de tiempo.
- L_1, L_5, L_{10} : indican los valores máximos del nivel de ruido, estos han sido superados sólo durante un pequeño porcentaje del tiempo de medida.
- L_{50} : indica el valor medio.

Nivel máximo o nivel de pico (L_{max})

Indica el nivel máximo alcanzado durante el período de medida. Es muy útil conocer cuál ha sido el nivel máximo porque niveles muy altos del nivel de presión sonora, aunque hayan sido de corta duración, pueden causar daños en el sistema auditivo de las personas.

Índice día - noche (L_{d-n})

Determina el valor medio del nivel sonoro haciendo distinción entre el día y la noche.

$$L_{d-n} = 10 \log \frac{1}{24} (15 * 10^{L_{eq,d}/10} + 9 * 10^{(L_{eq,n}+10)/10})$$

$L_{eq,d}$: es el nivel sonoro equivalente en el período de día.

$L_{eq,n}$: es el nivel sonoro equivalente en el período de noche.

Índice día - tarde - noche (L_{den})

Determina el valor medio de los niveles de la mañana, la tarde y la noche ponderados con el número de horas de cada intervalo.

$$L_{den} = 10 \log \frac{1}{24} \left(12 * 10^{L_{day}/10} + 4 * 10^{(L_{evening}+5)/10} + 8 * 10^{(L_{night}+10)/10} \right)$$

L_{day} : es el nivel sonoro equivalente durante el período de día (entre las 7 y las 19 horas).

$L_{evening}$: es el nivel sonoro equivalente durante la tarde (entre las 19 y las 23 horas). Se penaliza con 5 dB.

L_{night} : es el nivel sonoro equivalente en el período nocturno (entre las 23 y las 7 horas). Este período es penalizado con 10 dB.

5.2. Parámetros psicoacústicos.

“La psicoacústica es una rama de la psicofísica que estudia la relación existente entre el estímulo de carácter físico y la respuesta de carácter psicológico que el mismo provoca.” [24].

La psicoacústica es una disciplina empírica que busca estudiar la percepción que las personas tienen del sonido. Los resultados se obtienen a partir de conclusiones a la que se llega mediante experimentos realizados a diferentes sujetos. Algunos de los métodos más comúnmente utilizados para la obtención de hipótesis en las investigaciones de psicoacústica son los siguientes:

- Método de ajuste: en este tipo de experimentos el sujeto posee el control sobre el estímulo, debe ajustar su intensidad hasta igualarla con otro estímulo.
- Método de seguimiento: en este caso, el sujeto también tiene el control sobre el estímulo pero solo se permite su variación en una dirección, que es en la que varía el estímulo.

- Método de estimación de magnitud: consiste en asignar números a la intensidad del estímulo. Se da al sujeto una magnitud de referencia, llamada módulo, y se le informa de su valor, posteriormente el sujeto debe asignar números a las magnitudes sucesivas que se le presenten en función del valor de la primera.
- Método binario o procedimiento sí - no: en él el sujeto ha de decidir si una señal está presente o no.
- Método por elección forzada de dos intervalos: en este caso se presentan dos intervalos al sujeto y este debe indicar en cuál de ellos se encuentra la señal.
- Método adaptable: se presentan diversos estímulos al sujeto los cuales dependen de las respuestas del propio sujeto.
- Método de comparación de pares de estímulos: se presenta al sujeto un par de estímulos que presentan diferencias en una dimensión y otro par de estímulos que tienen diferencias en otra, el sujeto ha de decir cuál de las dos diferencias entre estímulos le ha parecido mayor.

Los parámetros psicoacústicos tratados en este estudio son los siguientes:

- Loudness.
- Sharpness.
- Roughness.
- Fluctuation Strength.

Todos ellos intentan relacionar los niveles de ruido con la percepción que los individuos tienen sobre él. Además, todos ellos han sido hallados de manera empírica a partir de análisis estadísticos de test subjetivos. De momento sólo el loudness está estandarizado por la ISO 532B [25], el resto están en proceso de estudio.

La utilización de estos parámetros subjetivos permite relacionar la evaluación del paisaje sonoro con la molestia percibida por las personas. En el estudio realizado por Chartier en 2005 [26], relativo al análisis del loudness y sharpness, se ha evidenciado la relación entre estos parámetros subjetivos y la percepción sonora de los oyentes sometidos al estudio.

Loudness

El loudness, también llamado sonoridad, es una magnitud subjetiva vinculada con la intensidad del sonido. Indica la percepción o sensación que las personas tienen ante el volumen del sonido y permite ordenar sonidos del más fuerte al más débil. El loudness depende de la intensidad del sonido, su frecuencia, el ancho de banda y su duración.

El nivel de sonoridad percibido está relacionado con el funcionamiento del sistema auditivo. El canal auditivo tiene influencia en la amplitud de las vibraciones del sonido, así dependiendo de la frecuencia, esta es más o menos amplificada. Esta dependencia de la frecuencia se da principalmente por las características de transferencia del oído externo al oído medio.

El primero en hablar sobre la percepción del sonido fue Barkhausen, en los años 20, quien realizó estudios acerca del ancho de bandas crítica y su relación con la sonoridad. Desarrolló una unidad, el Bark, que relaciona el sonido en el dominio de la frecuencia con el sonido en el dominio psicoacústico.

En 1933, Fletcher y Munson establecieron por primera vez las curvas de sonoridad, dichas curvas representan la relación entre la frecuencia y la intensidad de dos sonidos senoidales para ser percibidos como iguales, es decir, con igual sonoridad. Para su cálculo se utilizó un tono puro de 1 kHz e intensidad fija como referencia y se seleccionó un segundo tono puro de diferente frecuencia y de intensidad variable, el objetivo es que el sujeto variase la intensidad del segundo tono hasta conseguir la misma sensación sonora que el tono de 1kHz.

En 1956, Robinson y Dadson, recalcularon con mayor precisión las curvas de sonoridad. Más tarde, fueron normalizadas por la ISO 532B [25].

Las curvas de sonoridad se pueden ver en la figura 2.

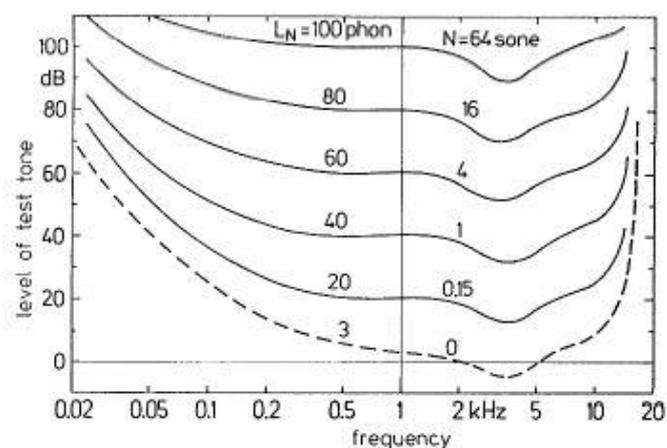


Figura 2. Curvas de sonoridad [27].

El fin de las curvas de sonoridad es poder comparar la intensidad subjetiva de dos tonos puros de diferente intensidad y frecuencia.

A medida que aumenta la intensidad del sonido las curvas se van volviendo más planas, esto quiere decir que según aumenta la intensidad la dependencia de la frecuencia es menor.

Las curvas de igual sonoridad son válidas para el campo sonoro directo. El sistema auditivo no se comporta igual ante el sonido proveniente de un campo sonoro directo que ante el de un campo sonoro difuso, el cual proviene de varias direcciones y es el más común. Por consiguiente, se introdujo una curva de corrección mediante la cual se consiguió que cualquier sonido, no solo los provenientes de un campo sonoro directo, tuvieran el mismo nivel de sonoridad que los de un sonido senoidal.

La curva de corrección se muestra en la figura 3:

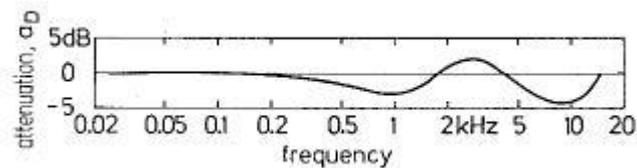


Figura 3. Curva de corrección del loudness [27].

Esta figura muestra la atenuación que es necesario realizar en la frecuencia para obtener la misma sonoridad en el campo sonoro directo que en el difuso. A bajas frecuencias esta corrección es innecesaria puesto que el sistema auditivo se comporta igual con el sonido proveniente de cualquier dirección.

Asignando una valoración numérica a las curvas de igual sonoridad se obtienen lo que se denomina nivel de sonoridad, que se define como el nivel de presión sonora de un tono de frecuencia 1 kHz que se encuentra sobre la misma curva. La unidad se denomina fonio (*phon*). Un fonio se corresponde con un tono puro de 1 dB y 1 kHz de frecuencia.

Los fonios miden el nivel de sonoridad, es decir, miden en una escala logarítmica por consiguiente no es posible comparar sonidos basándose en dicha unidad. Esto hace que surja la necesidad de una nueva unidad, el sonio.

El sonio (*sone*) es la unidad de la sonoridad. Se basa en una escala subjetiva. Para establecerla se utilizó un método llamado estimación de magnitud, definido por Stevens en 1956. Consiste en que los sujetos deben alterar la intensidad de un sonido en una proporción determinada para conseguir un sonido con, por ejemplo, el doble de sonoridad que el primero. El resultado que aportó dicho experimento fue la relación entre el nivel de sonoridad, expresado en fonios, y la sonoridad.

$$L = 2^{(L_N - 40)/10} \text{ sonios}$$

Un sonio corresponde a un nivel de sonoridad de 40 fonios o lo que es lo mismo un sonio se asigna a la sonoridad de un tono senoidal de 40 dB de presión sonora y 1 kHz.

Dicha escala se caracteriza porque un tono de dos sonios se percibe con el doble de sonoridad que un sonido de un sonio.

Esta relación es válida para sonidos mayores de 40 fonios, pero en la práctica es la que se usa la mayor parte de las veces porque los sonidos que se encuentran habitualmente están por encima de 40 fonios.

Para sonidos inferiores a 40 fonios se utiliza la siguiente fórmula:

$$L = 6,901 * 10^{-5} (NS - 2)^{2,634} \text{ sonios}$$

Siendo NS el nivel de sonoridad.

Sharpness

El sharpness, también conocido como nitidez, es una magnitud subjetiva que relaciona las componentes de alta frecuencia del sonido con las sensaciones percibidas por el sujeto. A mayor proporción de contenido en altas frecuencias el sonido es más agudo y cortante y, por consiguiente, más desagradable. Es decir, aporta información acerca de la agradabilidad del sonido.

Es una magnitud psicoacústica que ofrece información importante acerca de la calidad del sonido. En general, valores altos del sharpness se asocian con una calidad sonora positiva. Y una disminución de este parámetro implica una disminución en la calidad acústica.

Este parámetro está estrechamente relacionado con las sensaciones de volumen, aspereza (roughness) y la tonalidad.

Entre las ventajas que presenta el uso del sharpness como parámetro subjetivo de medida se encuentra el hecho de que modela las sensaciones percibidas de manera lineal y permite la comparación de la nitidez de dos sonidos diferentes.

Aunque es un parámetro que no está estandarizado, ha demostrado ser eficaz para la descripción de los ambientes sonoros, y junto con el loudness, suponen las dos magnitudes psicoacústicas básicas para la descripción de espacios sonoros.

La unidad del sharpness se denomina acum (nombre proveniente del latín que significa agudo). Zwicker y Fastl definen el acum como “un ruido de banda estrecha, una banda crítica de ancho, a una frecuencia central de 1 kHz y un nivel de 60 dB” [27].

Las principales características de las que depende el sharpness son el contenido espectral y la frecuencia central de los sonidos de banda estrecha. La dependencia con el nivel de presión sonora se puede obviar como primera aproximación, siempre que las diferencias de nivel no sean muy grandes. Esto se debe a que para un incremento de 30 dB a 90 dB del nivel de presión sonora, la nitidez tan solo aumenta en un factor de dos.

Una variable que puede tener influencia en la sensación del sharpness es la envoltura espectral del sonido, una estructura espectral fina no influye en la nitidez. Un ruido que presenta un espectro de sonido continuo, no presenta variación en cuanto a nitidez con un ruido compuesto de muchas líneas, siempre y cuando las envolventes espectrales medidas en niveles de banda crítica sean las mismas.

El sharpness también se puede relacionar con el ancho de banda. Siempre que este sea menor que el ancho de una banda crítica, no se detecta ninguna variación en la nitidez del sonido cuando el ruido pertenezca a la misma banda crítica.

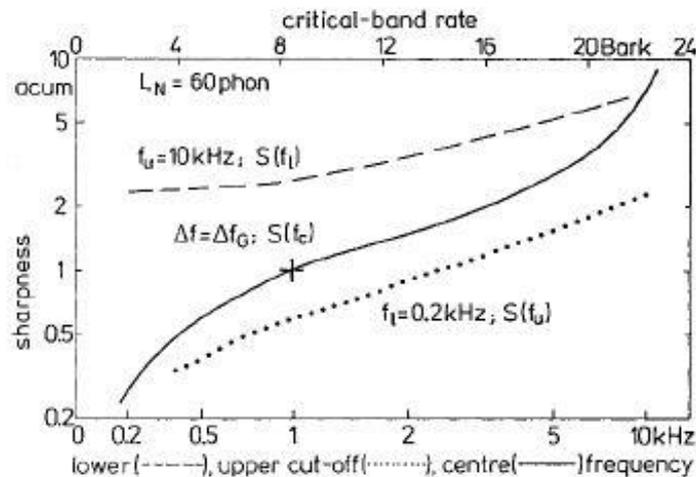


Figura 4. Curva de modelización del sharpness [27].

En la figura 4 se representa la relación entre la sensación del sharpness y la frecuencia central del ancho de banda crítica (línea continua). Es decir, la curva representa la función entre el estímulo y la sensación de nitidez. El ancho de banda crítica está representado en la abscisa superior en una escala lineal. Por otro lado tanto la frecuencia, en la abscisa inferior, y el sharpness o nitidez, en la ordenada, están representados en una escala logarítmica.

Para bandas estrechas el sharpness aumenta de manera casi proporcional a la frecuencia central de banda crítica hasta unos 3 kHz aproximadamente. Para frecuencias mayores el sharpness aumenta a mayor velocidad que la frecuencia central de la banda debido a que el aumento de la frecuencia está

limitado por 24 Bark de ancho de banda. Esta es la razón por la cual los sonidos de alta frecuencia están dominados por la sensación del sharpness.

Como el sharpness no está estandarizado no hay ninguna norma que determine cuál es el método que ha de utilizarse para su cálculo. En este estudio se va a presentar y utilizar el método propuesto por Zwicker y Fastl, por ser este el más extendido.

La fórmula mediante la cual se calcula el sharpness es la siguiente:

$$S = 0.11 \frac{\int_0^{24 \text{ Bark}} N' g(z) z dz}{\int_0^{24 \text{ Bark}} N' dz} \text{ acum}$$

N' : es el momento ponderado de la intensidad específica.

$N' g(z) z$: es el momento parcial ponderado con la función $g(z)$ donde:

$$\begin{cases} z < 14, \rightarrow g(z) = 1 \\ z \geq 14 \rightarrow g(z) = 0.00012 * z^4 - 0.0056 * z^3 + 0.1 * z^2 - 0.81 * z + 3.51 \end{cases}$$

El denominador indica la sonoridad total, cuyo cálculo se muestra en el apartado anterior. Y el numerador indica el momento parcial de volumen específico sobre banda crítica ponderado con la función $g(z)$ que depende del tipo de banda crítica. La evolución de este factor en función de la velocidad de banda crítica se muestra en la figura 5.

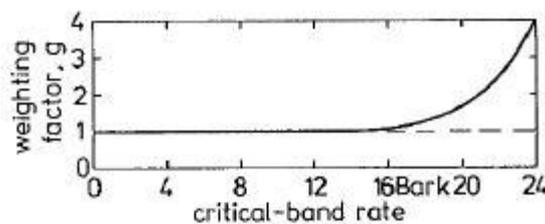


Figura 5. Función del factor $g(z)$ [27].

Para un ancho de banda crítica inferior a 16 Bark, el factor $g(z)$ vale uno, para valores mayores de ancho de banda el factor $g(z)$ aumenta rápidamente hasta un valor de 4 al llegar a 24 Bark. Esto hace que a altas frecuencias el valor del sharpness sea mucho mayor.

Roughness

El roughness, también llamado rugosidad o aspereza, es una magnitud psicoacústica que indica el grado de molestia producido por modulaciones rápidas a altas frecuencias.

Se entiende por modulación el conjunto de técnicas mediante las cuales se transporta información sobre una onda portadora. En este tipo, la modulación se lleva a cabo variando la frecuencia de una onda senoidal.

El roughness es un parámetro utilizado para la descripción subjetiva de espacios sonoros. Un roughness alto indica que el sonido se percibe más agresivo y molesto que los ruidos que presentan un roughness bajo.

La unidad del roughness es el asper, palabra procedente del latín cuyo significado es áspero. Se define como 1 asper a la rugosidad percibida por un tono con una presión sonora de 60 dB y frecuencia de 1 kHz, modulado a 70 Hz con un índice de modulación del 100%. Esta definición del asper ha sido aportada por Zwicker y Fastl.

Los factores que influyen en la percepción del roughness son la frecuencia de modulación, el grado de modulación y la frecuencia central de banda del sonido en cuestión.

Para que aparezca la sensación del roughness los sonidos han de modularse a una frecuencia comprendida entre 15 y 300 Hz aproximadamente. Modulando a 70 Hz se logra el valor máximo del roughness y disminuye a frecuencias de modulación más altas. A una frecuencia de modulación de 150 Hz, se empiezan a distinguir tres tonos audibles por separado, esta sensación es pequeña, aunque a frecuencias mayores se vuelve a hacer más fuerte. Esto indica que la sensación del roughness está producida por los cambios relativamente rápidos producidos en la franja de 15 a 300 Hz. Por esta razón, en la mayoría de los sonidos de banda estrecha se identifica la sensación del roughness.

Como se ha mencionado anteriormente, el grado de modulación también es importante en la sensación que produce del roughness. En la figura 6 se muestra la relación entre el roughness y el grado de modulación para un tono de 1 kHz y una frecuencia de modulación de 70 Hz. Esta relación se mantiene para otras frecuencias.

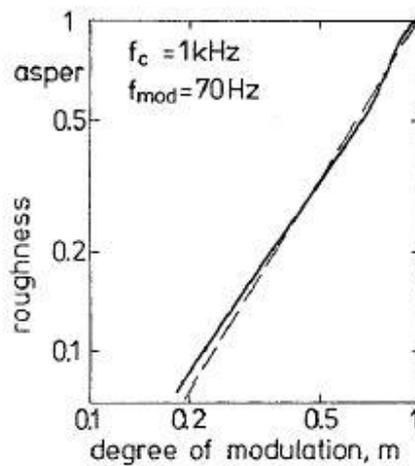


Figura 6. Función de relación entre el roughness y el grado de modulación [27].

Tanto el roughness como el grado de modulación se representan en una escala logarítmica, por lo tanto la línea discontinua se puede aproximar por la línea continua. Valores superiores a 1 en el grado de modulación no son significativos.

El tercer factor a tener en cuenta a lo hora de determinar el roughness es la frecuencia central de banda crítica. En la figura 7 se muestra la dependencia del roughness en función de la frecuencia de modulación para varias frecuencias centrales y el 100% de modulación.

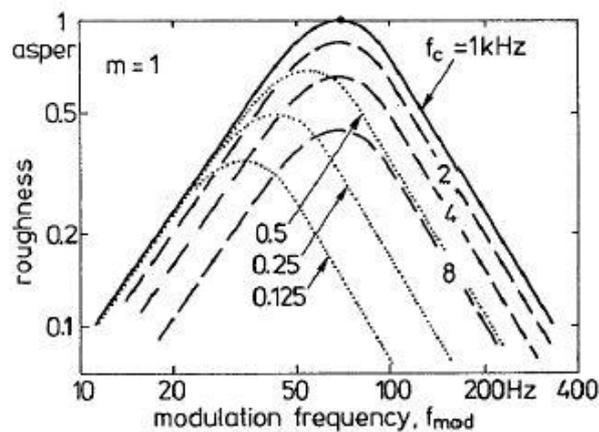


Figura 7. Función de relación entre el roughness y la frecuencia de modulación [27].

Como se observa en la figura, se alcanza el máximo a una frecuencia central de 1 kHz para una frecuencia de modulación de 70 Hz.

En cuanto a la influencia que presenta en el nivel de rugosidad la presión sonora, para un aumento de 40 dB en la presión sonora el roughness aumentar en un factor de 3 aproximadamente.

Al igual que ocurre con el sharpness, el roughness no está estandarizado por lo que se va a presentar la fórmula desarrollada por Zwicker y Fastl para el cálculo de dicho parámetro, dicha fórmula se presenta a continuación:

$$R = 0.3 \frac{f_{mod}}{kHz} \int_0^{24 \text{ Bark}} \frac{\Delta L_E(z) dz}{dB/Bark} \text{ asper}$$

f_{mod} : es la frecuencia de modulación.

$\Delta L_E(z)$: es el índice de modulación percibido por el oyente. La variación de nivel percibida por el oyente es inferior a la variación de nivel real. Este valor depende del valor de banda crítica, pero como no se disponen de datos suficientes para calcularlo en función de la tasa de banda se crítica, se calcula por su dependencia con el grado de modulación ya que se ha demostrado que está influenciado por este.

Fluctuation Strength

El parámetro psicoacústico fluctuation strength es una magnitud que indica la molestia producida por modulaciones a frecuencias muy bajas. Esta sensación, también llamada fuerza de fluctuación, aparece hasta una frecuencia de modulación de unos 20 Hz aproximadamente, a partir de este valor la sensación de fluctuation va desapareciendo y deja paso a la sensación del roughness. La frontera entre una y otra sensación no está claramente delimitada, se produce una transición suave entre una y otra sensación.

La unidad utilizada por el fluctuation strength es el vacil. Zwicker y Fastl definen como un vacil la sensación producida por un tono de 60 dB de nivel de presión sonora y 1 kHz de frecuencia, modulado a una frecuencia de 4 Hz con un índice de modulación del 100%. Es decir, la misma definición que para el asper excepto por la frecuencia de modulación, que en el caso del asper es 70 Hz.

Al igual que en el roughness, a continuación se va a estudiar la influencia que tienen en el fluctuation strength la frecuencia de modulación, el grado de modulación y la frecuencia central de banda crítica.

En la figura 8 se muestra la relación entre el fluctuation strength y la frecuencia de modulación. El fluctuation strength se muestra tanto en valor relativo como absoluto, esto se debe a que es una magnitud que se puede considerar aislada de otras sensaciones psicoacústicas. Además, la gráfica se divide en tres paneles, en el *a* se muestra un ruido de banda ancha, en el *b* aparece un tono

puro de amplitud modulada y en el c se representa un tono puro modulado en frecuencia. En todos ellos la sensación de fluctuation strength alcanza su máximo para frecuencias de modulación de aproximadamente 4 Hz y disminuye para frecuencias más altas.

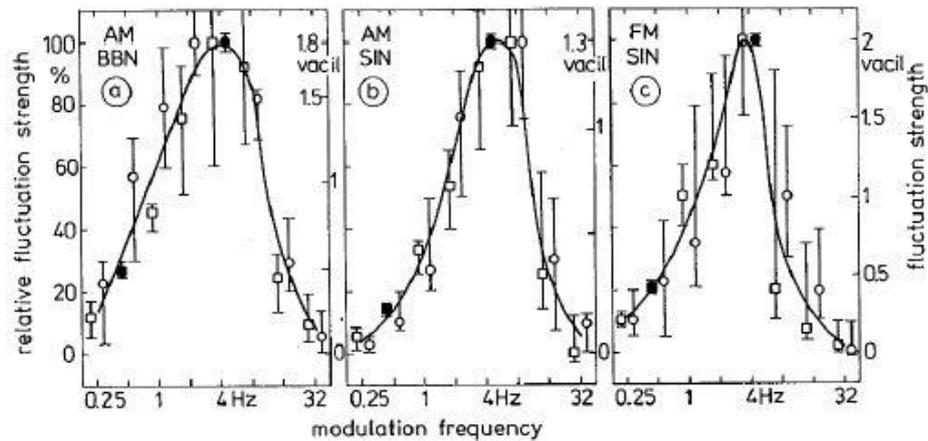


Figura 8. Función de relación entre el fluctuation strength y la frecuencia de modulación [27].

En cuanto al grado de modulación, el fluctuation strength alcanza su máximo entorno a un factor de modulación del 94%, a partir de aquí se mantiene constante hasta llegar al 100% de factor de modulación. Dicho comportamiento se puede observar en la figura 9:

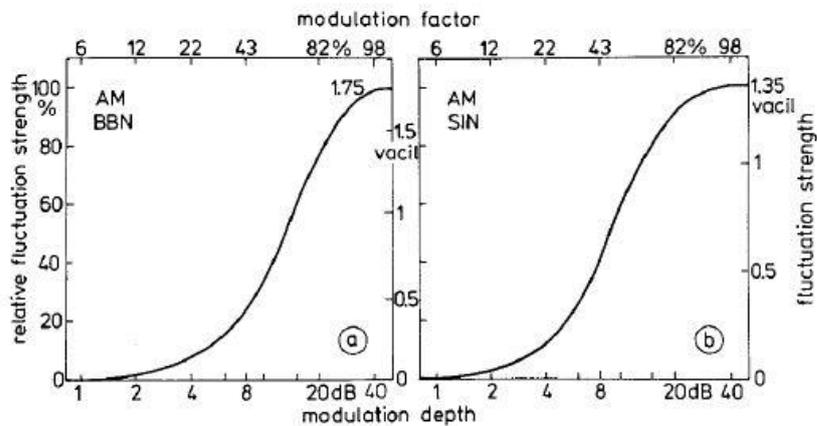


Figura 9. Función de relación entre el fluctuation strength y el grado de modulación [27].

En el parámetro de fluctuation strength se presenta una diferencia en la influencia de la frecuencia central de banda entre tonos puros de amplitud modulada (AM SIN) y tonos puros modulados en frecuencia (FM SIN). En los

tonos puros de amplitud modulada la sensación de fluctuation strength depende muy poco de la frecuencia central, mientras que para tonos puros modulados en frecuencia, la frecuencia central de banda sí condiciona la sensación percibida en cuanto al fluctuation strength. En la figura 10 se muestra dicha relación.

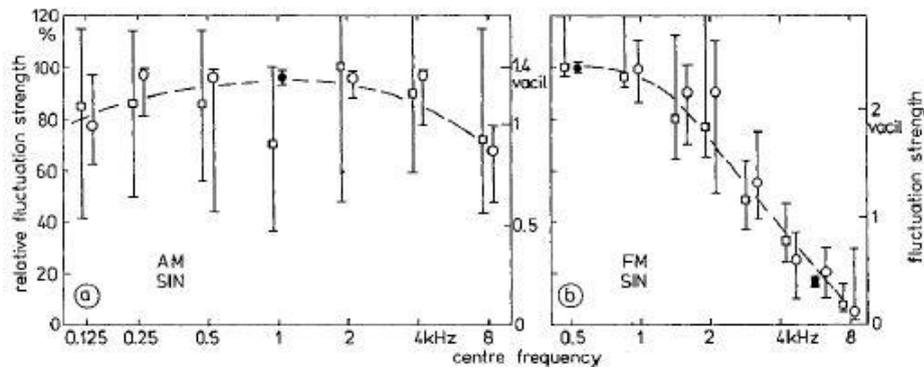


Figura 10. Función de relación entre el fluctuation strength y la frecuencia central [27].

Al igual que el resto de parámetros psicoacústicos, el fluctuation strength también está relacionado con el nivel de presión sonora. Un aumento de 40 dB en el nivel de presión sonora produce un incremento en el valor de dicho parámetro psicoacústico en un factor de aproximadamente 2.5.

Como ocurre con los parámetros psicoacústicos anteriores, el fluctuation strength no está estandarizado, así que, como en casos anteriores, la fórmula presentada a continuación para el cálculo del parámetro psicoacústico que nos ocupa ha sido desarrollada por Zwicker y Fastl.

$$F = \frac{0.008 \int_0^{24 \text{ Bark}} (\Delta L / \text{dB Bark}) dz}{(f_{\text{mod}} / 4 \text{ Hz}) + (4 \text{ Hz} / f_{\text{mod}})} \text{ vacil}$$

f_{mod} : es la frecuencia de modulación.

ΔL : es el índice de modulación percibido por el oyente.

6. Instrumentación.

Los instrumentos requeridos para la realización del presente estudio han sido una grabadora y unos micrófonos intraurales para la grabación del ruido ambiental en las diferentes calles de la ciudad, y un sonómetro necesario en la etapa de calibración. Todos ellos han sido cedidos por la Universidad de Valladolid.

6.1. Grabadora y micrófonos.

La grabadora de mano utilizada para grabar el sonido de un determinado lugar es de la marca TASCAM. Se ha utilizado el modelo DR 100 MK III, un modelo de alta gama que ofrece una fiel captación del ruido, versatilidad y practicidad.

Es una grabadora estéreo que tiene integrados cuatro micrófonos, 2 direccionales y 2 omnidireccionales, aunque se ha optado por realizar las mediciones con unos micrófonos intraurales ya que la grabadora también da la posibilidad de conectar estos micrófonos a través de una alimentación *Panthon* que presenta la grabadora, dicha alimentación lo que hace es ofrecer una corriente continua a los micrófonos debido a que estos presentan un preamplificador de audio que necesita una alimentación.

Se ha decidido utilizar estos micrófonos intraurales principalmente porque estos micrófonos se colocan en los oídos de la persona que realiza la grabación, lo cual hace que el sonido que se grabe sea tal y como una persona lo percibe, ya que no recibimos la misma señal acústica en ambos oídos debido a las interferencias. Además, así aprovechamos la opción que ofrece la grabadora de grabación binaural, que elimina la interferencia entre los canales de audio izquierdo y derecho y nos ofrece una señal más precisa para cada canal. Esto es algo muy útil para posteriormente poder realizar *listening tests*, así las personas a las que se les realice dichos tests escucharán la señal tal y como la escuchó la persona que realizó la grabación.

Otra ventaja que nos ofrece dicho modelo de grabadora es que permite reproducir en ella la grabación realizada, lo cual es muy útil para comprobar si se ha realizado bien la medición.

Para realizar las grabaciones es necesario establecer unos parámetros de medida en la TASCAM para adecuarla al estudio que se quiere llevar a cabo. Los parámetros que hay que establecer son los siguientes:

- Fecha y hora: Necesario para que quede registrado el día y la hora exacta de cada grabación.

- Formato del archivo de audio: Para el posterior análisis en MATLAB se ha seleccionado que el formato sea wav.
- Frecuencia de muestreo: Se ha seleccionado que sea de 48.000 Hz.
- Tipo de fichero: Estéreo.
- Entrada de audio: OMNI MIC R/L, es decir, los micrófonos externos que se han conectado.
- Tipo de carga: 24V.

Una vez configurados estos valores no se modifican hasta realizar todas las mediciones. Sólo queda por configurar el nivel al que se realizarán las mediciones, que depende del nivel de presión sonora del ruido que se vaya a grabar. Esto se establece en la etapa de calibración y para ello se utiliza la ruleta que presenta en el lateral derecho.

Posteriormente, en la etapa en la que se realicen las grabaciones, sólo se utilizará el botón de *encendido* y *apagado* y el del *red* y *stop*.



Figura 11. Grabadora TASCAM DR 100 MK III con los micrófonos intraurales.

6.2. Sonómetro.

Un sonómetro es un instrumento de medida del nivel de ruido que existe en un lugar y momento determinados y del espectro de dicho ruido. Es un aparato portátil que mide la presión sonora en dB, además permite la opción de seleccionar las ponderaciones de medidas por banda (A, B, C, D).

Su funcionamiento está regulado por la norma CEI 60651 y la norma CEI 60804, cuyo fin es establecer una norma para que todos los sonómetros ofrezcan una misma medición ante un mismo sonido.

Se pueden diferenciar entre cuatro clases de sonómetro según su grado de precisión:

- Sonómetro de clase 0: es el más estricto en cuanto a niveles de tolerancia. Se usa para realizar medidas muy precisas en laboratorio.
- Sonómetro de clase 1: utilizado para medidas de campo en las que se requiera precisión.
- Sonómetro de clase 2: utilizado para medidas de campo más generales.
- Sonómetro de clase 3: de menor precisión que los anteriores se utiliza para la toma de medidas aproximadas.

El modelo utilizado en el presente estudio es el sonómetro 01dB Solo Black Edition, un sonómetro de gran versatilidad para uso en aplicaciones de acústica ambiental y arquitectónica. Este modelo es de clase 1.

Se ha utilizado únicamente para realizar la calibración de la grabadora TASCAM, explicado en el apartado “Calibración del aparato de medida”.



Figura 12. Sonómetro 01dB Solo Black Edition.

7. Calibración del aparato de medida.

Antes de comenzar con las grabaciones es necesario calibrar el aparato de medida para asegurar su correcto funcionamiento y obtener la mínima desviación posible.

Por la forma que tienen los micrófonos intraurales no es posible realizar la calibración utilizando un pistófono, método empleado comúnmente debido a su sencillez y eficacia, si no que tenemos que recurrir a la comparación de dos señales.

Para dicha calibración se utiliza una cámara semianecoica con el fin de tener las mínimas reflexiones posibles en el proceso.

Una cámara semianecoica es una habitación diseñada para absorber las reflexiones producidas por ondas acústicas en las superficies que la conforman excepto en el suelo. Estas superficies están recubiertas de materiales absorbentes con forma de cuñas para que así, cualquier posible reflexión vuelva a incidir en el material absorbente hasta su total absorción.

Además, la cámara ha de estar aislada de cualquier fuente de ruido externa para evitar interferencias externas en la medida.

La diferencia entre una cámara anecoica y una semianecoica radica en que la primera presenta todas sus superficies recubiertas con material absorbente, incluido el suelo.

Uno de los puntos necesarios a la hora de realizar una correcta calibración es que el nivel de emisión ha de ser 15 dB más elevado que el ruido de fondo, algo fácil de conseguir con las características que presenta una cámara semianecoica.

El objetivo es conseguir un entorno controlado y repetir el mismo escenario dos veces, en las mismas condiciones, para un mismo tono puro. Primero se calcula el nivel emitido con un sonómetro y posteriormente, sabiendo ya cual es el nivel del tono emitido en ese punto, se graba con la grabadora.

Tras la calibración se obtiene una grabación con dos canales de audio, relativos al micrófono del oído izquierdo y el derecho. Además, se conoce el nivel total existente en ese punto por lo que mediante MATLAB se va a obtener un valor de calibración, el cual es un factor de corrección por el que se van a multiplicar todos los parámetros calculados para conseguir el valor real.

En la cámara semianecoica se coloca una mesa para situar encima el ordenador desde el que se va a emitir el tono puro y un altavoz. Es necesario que la fuente se coloque a más de un metro de altura por lo que no se puede situar en el suelo. A 1,40 metros de la fuente situamos un trípode en el que colocamos el sonómetro. El sonómetro se sitúa en el trípode a 1,20 metros del

suelo y se marca ese punto, para posteriormente poder situar los micrófonos de la grabadora en el mismo sitio.

Para conseguir que los micrófonos se encuentren en el mismo punto en el que se ha medido el sonómetro se proyecta el micrófono del sonómetro en el suelo y se pinta un punto con una tiza, posteriormente se mide la altura a la que se encuentra y ya se tiene el punto exacto donde se deben colocar los micrófonos de la grabadora.

Aunque lo ideal es que no haya obstáculos para que no haya reflexiones, en realidad, lo que interesa es que las condiciones sean idénticas, con las mismas reflexiones, en ambos escenarios y medir exactamente en el mismo punto con el sonómetro y con la grabadora. Como se producen las mismas reflexiones el nivel que llega a ese punto en ambos casos es el mismo.

Además de los obstáculos anteriormente mencionados hay que contar con dos personas, necesarias para realizar la calibración. Una de ellas se sitúa al lado del ordenador para poder poner el tono puro y la otra se encuentra al lado del sonómetro para apuntar el nivel medido. Cuando se proceda al cambio de escenario para grabar el sonido con los micrófonos, las personas se mantendrán en los mismos puntos que en el caso anterior para intentar conseguir las mismas reflexiones.

El escenario en el que se realiza la calibración se puede ver en la figura 13. (Faltan las dos personas).



Figura 13. Escenario de realización de la calibración.

Se elige un tono puro de 1000 Hz, que es la frecuencia estándar que se utiliza a la hora de realizar calibraciones. Además dicho tono se debe escuchar lo suficientemente alto para no tener que conectar los altavoces al 100%, ya que cuanto más alto se encuentre el altavoz más distorsionará el tono, lo cual no interesa. La grabación utilizada es de 30 segundos, tiempo suficiente para que el nivel de presión se estabilice.

Antes de comenzar con la calibración se mide entorno a qué nivel se encuentra el tono puro en el punto de grabación, ya que interesa calibrar la grabadora a los niveles que se van a encontrar en la calle. Excepto algunos casos concretos serán niveles de 70-90 dB. Se comprueba como el tono puro del que se dispone da un nivel aproximado de 75 dB puesto al 60% de la capacidad del altavoz, como dicho valor se encuentra dentro del intervalo se procede con la calibración. Durante este período de prueba también se ajusta el nivel de la grabadora para que no sature, teniendo en cuenta los niveles que se van a encontrar en la calle. Esto se puede ver fácilmente ya que la grabadora dispone de un pequeño led ubicado a la derecha del dispositivo, este se pone rojo cuando satura así que basta con comprobar que no luce en ningún momento. En el caso de que lo hiciese se baja la ganancia mediante una ruleta situada también a la derecha del dispositivo, hay que tener cuidado con no bajar demasiado la ganancia para no obtener tonos muy bajos.

Se cierra la puerta de la cámara semianecoica y se configura el sonómetro para que muestre el espectro del sonido en el rango de 1000 Hz. Posteriormente se conecta la grabación de 30 segundos, durante este período las dos personas que se encuentran dentro de la cámara intentan moverse lo mínimo posible. Transcurrido ese tiempo se apunta el nivel medido por el sonómetro que es de 74,8 dB. A continuación, en el lugar donde se encuentra el sonómetro se colocan los micrófonos, los cuales están conectados a la grabadora que se deposita en el suelo. Se vuelve a conectar la grabación del tono puro y se activa la grabación en la TASCAM.

Una vez finalizado este proceso se dispone de una grabación de 30 segundos y se conoce el nivel exacto en el punto de grabación, datos necesarios para el posterior procesado en MATLAB. Además, ya se ha configurado la grabadora, con la ganancia adecuada, y esa será nuestra referencia para todas las posteriores mediciones. Para evitar cambiar accidentalmente la ganancia se mueve un botón situado a la izquierda de la grabadora a su posición en HOLD, esto hace que se bloquee la ganancia y en el que caso de moverla no se cambien los valores configurados.

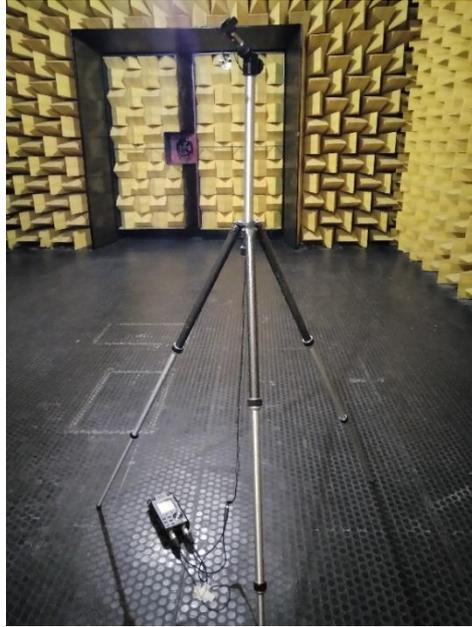


Figura 14. Posición de la TASCAM y los micrófonos durante la grabación.

8. Determinación de las condiciones de contorno.

Antes de comenzar con las mediciones en el terreno es necesario determinar las condiciones de contorno y establecer la metodología a seguir.

Para intentar que el estudio sea lo más análogo posible al estudio realizado en Madrid, con el fin de poder comparar las condiciones acústicas de sendas ciudades, se establece el horario de medida de lunes a viernes entre las 9:30 y las 13:30 horas.

Se limita el intervalo horario para poder encontrar las mismas condiciones acústicas, sin encontrar apenas variación entre unas horas y otras ya que no se puede medir a la misma hora en todas las calles, lo cual sería lo ideal. Y es necesario tener condiciones similares durante toda la toma de muestras para posteriormente poder compararlas.

En el intervalo escogido se va a mantener el mismo volumen de tráfico y de ruido excepto en algunos momentos puntuales como puede ser a primera y última hora, cuando es la entrada y salida de los niños al colegio lo cual genera mayor volumen de tráfico y, por consiguiente, de ruido, además del ruido generado por los propios niños al jugar y relacionarse a la salida del colegio. Esto se debe tener en cuenta a la hora de analizar los resultados, si se encuentran pequeñas variaciones en puntos de medida que pertenecen al mismo clúster podrá ser este uno de los motivos.

Se realizan mediciones sólo los días laborables para intentar mantener las mismas condiciones, se considera que los días de fiesta disminuye el volumen de tráfico y también es posible que el número de personas y actividades que se realicen en las calles varíe, por tanto, el nivel de ruido variará ligeramente.

Se intenta imitar en todos los puntos de medida las mismas condiciones dentro de lo posible. Cada una de las calles posee unas características diferentes lo cual hace imposible realizar las mediciones en las mismas condiciones exactamente.

En líneas generales, la persona que lleva los micrófonos se sitúa en torno a la mitad de la acera, sin acercarse mucho a los edificios para evitar que estos hagan de pantalla del sonido y siempre de cara a la carretera. Además, se ubica a la mitad de la manzana seleccionada para realizar la medición y siempre evitando cruces y posibles entradas y salidas de vehículos, para facilitar el cómputo de estos. Asimismo, la persona que lleva la grabadora se mantiene de pie para que la altura a la que se grabe el sonido sea siempre la misma.

Para evitar el mayor número de interferencias posibles se intenta situar lejos de obras, paradas de autobuses, entradas, salidas y patios de colegios, paradas de carga y descarga o similares. Ya que en estos lugares puede haber

variación de las condiciones acústicas en momentos puntuales, lo cual puede modificar ligeramente el valor de los parámetros calculados.

También se evitan los días de lluvia y de vientos elevados para no obtener niveles superiores de ruido de lo que se pudiera tener en condiciones normales.

La duración de las grabaciones se establece en 15 minutos, tiempo suficiente para considerar representativos los valores obtenidos.

9. Obtención de datos.

9.1. Proceso de medición.

La toma de datos es llevada a cabo por dos personas, una de ellas lleva la grabadora con los micrófonos y la otra se encarga de anotar el número de vehículos que pasan por el punto de medida, así como las incidencias o acontecimientos excepcionales que pudieran suceder.

Como se establece en las condiciones de contorno definidas en el punto de partida, las grabaciones serán de 15 minutos, situándose a la mitad del largo de la calle, siempre que sea posible, y a una distancia media entre los edificios y la calzada. Así como de cara a la calzada y de pie, para mantener siempre a la misma altura el punto donde se capta el sonido.

La persona que lleva la grabadora es siempre la misma para intentar repetir siempre las mismas condiciones.

Antes de comenzar con el proceso de grabación, se realizan dos pruebas para comprobar si el aparato de medida funciona correctamente. Durante este proceso se establece cómo se han de colocar los micrófonos en el oído, que no queden muy introducidos en el conducto auditivo ni se queden tan fuera del oído que pueda caerse durante el tiempo de grabación. Una vez establecida la posición exacta se procede a realizar una foto para que cuando se realicen las posteriores grabaciones se pueda comprobar que están situados en la misma posición que la definida en este punto. El objetivo es intentar simular las mismas condiciones e interferencias durante todos los días que se realicen grabaciones ya que la posición en la que se encuentran los auriculares puede generar diferencias en el número de interferencias que recibe el captador de la señal.

En las pruebas realizadas, se graba un audio de aproximadamente 3 minutos y se comprueba que durante este período la grabadora no ha saturado, esto se puede observar fácilmente ya que si satura se enciende un led de color rojo. También, se debe comprobar que los niveles a los que se ha calibrado la TASCAM son adecuados y similares a los encontrados en la calle, para ello la barra de nivel que se observa en la pantalla para cada uno de los oídos ha de estar, más o menos, a la mitad de su capacidad, para no obtener niveles muy bajos ni muy altos y así no tener problemas a la hora de procesar las grabaciones.

Tras comprobar que los niveles medidos han sido adecuados a la configuración establecida en la grabadora se reproduce el sonido para comprobar que graba correctamente y no alerta de ningún error. Además, se transfieren los datos

obtenidos al ordenador para verificar que son compatibles y que se pueden procesar con MATLAB para obtener los parámetros establecidos.

Antes de salir a realizar las mediciones se establece un formato de hoja de toma de datos para que sea más sencillo la anotación de estos. La plantilla de toma de datos se puede ver en la figura 15.

REPRODUCCIÓN	FID	TIPOVIA	CODVIA	DESAYTO	TIPOAYTO	CLUSTER	ZONA	COORDENADAS	HORA INICO	HORA FIN	OBSERVACIONES	Nº VEHÍCULOS
												P:
												C:
												M:
												P:
												C:
												M:
												P:
												C:
												M:

Figura 15. Tabla para la toma de datos en terreno.

En ella se definen los siguientes campos:

- REPRODUCCIÓN: en este apartado se anota el número correspondiente a la grabación realizada establecido por la TASCAM.
- FID: se utiliza para designar el registro de cada grabación.
- TIPOVIA: sirve para anotar el tipo de vía en el que se encuentra el punto de grabación definidos en el clúster viario.
- CODVIA: sirve para conocer el código según el tipo de vía.
- DESAYTO: utilizado para saber el nombre del lugar de grabación.
- TIPOAYTO: para conocer el tipo de vía.
- CLÚSTER: en él se anota el clúster al que pertenece cada grabación.
- ZONA: se utiliza para conocer la zona a la que pertenece la grabación realizada.
- COORDENADAS: apartado designado para anotar las coordenadas del punto exacto donde se realiza la grabación. Es importante dado que a lo largo de la calle puede haber variación respecto al nivel de ruido,

sobre todo en aquellas de gran extensión. Además, se necesita para obtener los parámetros arquitectónicos.

- HORA INICIO: sirve para anotar la hora exacta a la que se inicia la grabación.
- HORA FIN: se utiliza para anotar la hora de finalización de la grabación.
- OBSERVACIONES: sirve para anotar las condiciones climatológicas, las cuales pueden tener un efecto en el nivel de ruido. Además se anota la sensación que produce el nivel de ruido en el oyente. Se designa de la siguiente manera:
 - “Muy agradable” cuando la sensación que ofrece el ruido de la calle sea confortable, es decir, cuando apenas haya ruido.
 - “Agradable” cuando la sensación también sea confortable pero haya algún ruido un poco molesto.
 - “Variable” cuando la sensación no tenga una tendencia clara, es decir, se mezclen ruidos suaves con ruidos molestos.
 - “Molesto” cuando haya un mayor número de ruidos molestos que en el caso anterior, en este caso el ruido generado en dicha calle puede presentar malestar en las personas que se encuentra allí por un período de tiempo.
 - “Muy molesto” cuando el ruido sea demasiado alto y cree una sensación clara de malestar en las personas que circulen por dicha calle.

En este apartado también se anotarán las condiciones excepcionales que se pudieran dar en algún momento dado durante el tiempo en el que se está realizando la grabación.

- Nº VEHÍCULOS: en este apartado se anota el número de vehículos que pasan por el punto de medición durante el tiempo de grabación. Estos se dividen en tres grupos:
 - Coches (C).
 - Motos (M).
 - Vehículos pesados (P).

Se hace una distinción entre estos tres grupos porque el nivel de ruido emitido por cada uno de ellos va a variar significativamente y por lo tanto va a tener un impacto en los parámetros psicoacústicos calculados.

Es necesario tener contabilizado el número de vehículos que circulan por la calle para posteriormente poder comparar la categorización en función de parámetros de tráfico con la categorización en función de parámetros psicoacústicos.

Una vez realizadas las pruebas, tras comprobar que todo funciona correctamente y con la plantilla de toma de datos definida se sale a grabar en los días, horarios y lugares establecidos.

El procedimiento realizado durante la toma de muestras de sonido es el siguiente:

Tras llegar al primer punto de medida se enciende la grabadora y la persona que va a llevar los micrófonos se los coloca y se comprueba que están en la posición determinada con la ayuda de la foto realizada en la etapa anterior. La otra persona que realiza las mediciones resetea el contador, en este están introducidos los 3 grupos de vehículos definidos anteriormente.

Una vez que está todo listo, cuando los datos necesarios estén anotados en la hoja de toma de datos y las personas situadas en las posiciones determinadas, se comienza a grabar. Para ello se pulsa el botón de REC de la grabadora dos veces y durante los próximos 15 minutos de grabación la persona que lleva los micrófonos no habla en ningún momento, para evitar interferencias.

Se anota la hora de inicio de la grabación, ya que puede haber ligeros cambios entre dos calles que pertenezcan al mismo clúster dependiendo de la hora en la que se haya grabado el sonido.

Durante el tiempo de grabación, si hubiera algún acontecimiento excepcional se refleja en la hoja de toma de datos anotándolo ya que pudiera tener efecto en los parámetros psicoacústicos y la hora en la que se produce. Esto es necesario para que cuando se procesen las grabaciones, si se obtienen resultados extraños poder identificar cuál ha sido su causa.

Cada vez que un vehículo pase por el punto donde se están realizando las mediciones se suma uno en el grupo correspondiente del contador.

Transcurridos los 15 minutos se detiene la grabación y se escribe el número final de vehículos de cada grupo en la hoja de toma de datos y la hora de fin de la misma.

Si se va a seguir realizando mediciones, la persona que lleva los micrófonos no se los quita y la grabadora no se guarda para evitar modificar la posición en la que están situados los micrófonos. Si es el último punto de medida del día, la grabadora se guarda en la caja.

9.2. Puntos de grabación y recorridos realizados.

Los puntos de grabación establecidos por mi compañero Pablo Ruíz en su TFG y explicados en el apartado “Puntos de grabación” se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Lugares elegidos para realizar la toma de datos.

Calle\Paseo\Avenida	Zona	Clúster Viario
Calle Cardenal Cisneros	1	Clúster 1
Calle Mirabel	1	Clúster 1
Calle del Amor de Dios	1	Clúster 2
Calle Portillo de Balboa	1	Clúster 2
Calle Rondilla Santa Teresa	1	Clúster 1
Avenida Palencia	1	Clúster 2
Calle Miguel Íscar	2	Clúster 1
Calle Duque de la Victoria	2	Clúster 1
Calle María de Molina	2	Clúster 1
Calle Gamazo	2	Clúster 1
Calle López Gómez	2	Clúster 2
Acera de Recoletos	2	Clúster 2
Paseo Zorrilla	2	Clúster 1
Calle Huelgas	2	Clúster 1
Calle Madre de Dios	2	Clúster 1
Paseo Prado de la Magdalena	2	Clúster 1
Avenida Ramón y Cajal	2	Clúster 1
Calle Cardenal Mendoza	2	Clúster 2
Calle Real de Burgos	2	Clúster 2
Paseo Isabel la Católica	2	Clúster 1
Calle San Ignacio	2	Clúster 1
Calle de Felipe II	2	Clúster 1
Calle San Quirce	2	Clúster 1
Calle de las Angustias	2	Clúster 1
Avenida de los Reyes Católicos	3	Clúster 1
Calle Padre Francisco Suárez	3	Clúster 1
Paseo Hospital Militar	3	Clúster 3
Calle Estación	3	Clúster 1
Calle Labradores	3	Clúster 1
Calle de Recondo	3	Clúster 2
Paseo de los Filipinos	3	Clúster 2
Paseo Farnesio	3	Clúster 1
Avenida Segovia	3	Clúster 2
Calle de Joaquín Velasco Martín	4	Clúster 1
Calle de las Mieses	4	Clúster 1
Avenida de Burgos	4	Clúster 1
Avenida de Miguel Ángel Blanco	4	Clúster 2
Avenida de Vicente Mortés	4	Clúster 2
Avenida de Cerros	4	Clúster 2
Avenida Salamanca	4	Clúster 3
Avenida Gijón	4	Clúster 3
Avenida de las Contiendas	4	Clúster 3

Se dispone de un total de 42 puntos de medida. Para la elección de los recorridos a seguir se establece que se realizan aproximadamente 9 mediciones por día de grabación, para poder realizarlas durante el intervalo temporal definido en las condiciones de contorno. Teniendo en cuenta esto y con la ayuda de un mapa de la ciudad de Valladolid se eligen 5 recorridos en los cuales se busca que los puntos de medida estén lo más cerca posible y se establece un orden lógico para ir a esos puntos sin tener que retroceder ni dar vueltas innecesarias. El número de recorridos define el número de días a salir a grabar, 5.

Se elige cada recorrido coincidiendo con una zona de grabación, ya que como dichos puntos pertenecen a la misma zona son los que más próximos entre sí están. Así se realiza un recorrido para la zona 1, otro para la zona 3 y otro para la 4, la zona 2 se divide en dos recorridos debido a su mayor número de puntos.

Los recorridos que se establecen para optimizar la distancia entre los puntos de medida son los siguientes:

- Recorrido 1: cuyos puntos de medida pertenecen a la zona 1.
 1. Calle Cardenal Cisneros.
 2. Calle Mirabel.
 3. Calle Rondilla Santa Teresa.
 4. Calle Portillo de Balboa.
 5. Avenida Palencia.
 6. Calle del Amor de Dios.

- Recorrido 2: realizado con puntos pertenecientes a la zona 2.
 1. Paseo Isabel la Católica.
 2. Calle San Quirce.
 3. Calle San Ignacio.
 4. Calle Felipe II.
 5. Calle de las Angustias.
 6. Avenida Ramón y Cajal.
 7. Calle Real de Burgos.
 8. Paseo Prado de la Magdalena.
 9. Calle Madre de Dios.

- Recorrido 3: cuyos puntos están clasificados en la zona 2.
 1. Calle Huelgas.
 2. Calle Cardenal Mendoza.
 3. Calle López Gómez.
 4. Calle Duque de la Victoria.
 5. Calle Gamazo.

6. Calle Miguel Íscar.
 7. Calle Acera de Recoletos.
 8. Calle María de Molina.
 9. Paseo Zorrilla.
- Recorrido 4: realizado con puntos pertenecientes a la zona 3.
 1. Avenida de los reyes católicos.
 2. Calle Padre Francisco Suárez.
 3. Paseo Hospital Militar.
 4. Paseo de los Filipinos.
 5. Calle de Recondo.
 6. Calle Estación.
 7. Calle de Labradores.
 8. Avenida Segovia.
 9. Paseo Farnesio.

 - Recorrido 5: cuyos puntos de medida pertenecen a la zona 4.
 1. Avenida Salamanca.
 2. Calle Joaquín Velasco Martín.
 3. Avenida de Miguel Ángel Blanco.
 4. Avenida de Vicente Mortes.
 5. Calle de las Mieses.
 6. Avenida Cerros.
 7. Avenida de las Contiendas.
 8. Avenida Gijón.
 9. Avenida de Burgos.

9.3. Resultados.

Los datos recogido durante las grabaciones realizadas en la etapa de toma de datos se pueden ver en las tablas 7, 8, 9, 10 y 11, en cada una de ellas aparece una de las zonas determinadas anteriormente.

Tabla 7. Resultados correspondientes a la zona 1.

REPRODUCCIÓN	FID	TIPOVIA	CODVIA	DESAYTO	TIPOAYTO	CLUSTER	ZONA	COORDENADAS	HORA INICIO	HORA FIN	OBSERVACIONES	Nº VEHÍCULOS
170914_0021	922	VIAS LOCALES SEGREGADAS	667	CARDENAL CISNEROS	CALLE	1	1	41°39'41.5"N 4°43'20.1"W	9:45	10:00	Cielo cubierto, sensación sonora variada. Ruido por camión de la limpieza (min 1) y CyD (min 9-12)	P:4 C:107 M:0
170914_0023	950	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	394	MIRABEL	CALLE	1	1	41°39'44.8"N 4°43'30.6"W	10:37	10:52	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P:0 C:63 M:1
170914_0024	953	VIAS LOCALES SEGREGADAS	570	RONDILLA STA TERESA	CALLE	1	1	41°39'34.0"N 4°43'36.7"W	11:00	11:15	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P:16 C:187 M:7
170914_0025	942	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	478	PORTILLO DE BALBOA	CALLE	2	1	41°39'34.0"N 4°43'17.8"W	11:22	11:37	Cielo cubierto, sensación sonora agradable.	P:16 C:28 M:1
170914_0026	984	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	439	PALENCIA	AVDA	2	1	41°39'35.1"N 4°43'07.9"W	11:43	11:58	Cielo cubierto, sensación sonora molesta.	P:3 C:147 M:5
170914_0027	965	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	26	AMOR DE DIOS	CALLE	2	1	41°39'43.3"N 4°43'00.4"W	12:04	12:19	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P:0 C:55 M:0

Caracterización subjetiva de paisajes sonoros de Valladolid

Tabla 8. Resultados correspondientes a la zona 2 (1º recorrido).

REPRODUCCIÓN	FID	TIPOVIA	CODVIA	DESAYTO	TIPOAYTO	CLUSTER	ZONA	COORDENADAS	HORA INICIO	HORA FIN	OBSERVACIONES	Nº VEHÍCULOS
180509_0079	1107	VIAS LOCALES SEGREGADAS	308	ISABEL LA CATÓLICA	PASEO	1	2	41°39'15.7"N 4°43'55.0"W	9:42	9:57	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P:7 C:361 M:21
180509_0080	1051	VIAS LOCALES SEGREGADAS	558	SAN QUIRCE	CALLE	1	2	41°39'24.7"N 4°43'49.0"W	10:02	10:17	Cielo cubierto, sensación sonora molesta.	P:4 C:153 M:9
180509_0081	1092	VIAS LOCALES SEGREGADAS	538	SAN IGNACIO	CALLE	1	2	41°39'22.7"N 4°43'40.8"W	10:22	10:37	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P:1 C:361 M:0
180509_0082	1058	VIAS LOCALES SEGREGADAS	713	FELIPE II	CALLE	1	2	41°39'16.6"N 4°43'33.2"W	10:41	10:56	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P:3 C:24 M:6
180509_0083	1063	VIAS LOCALES SEGREGADAS	33	ANGUSTIAS	CALLE	1	2	41°39'21.8"N 4°43'27.6"W	10:59	11:14	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P:2 C:75 M:4
180509_0084	1007	VIAS LOCALES SEGREGADAS	499	RAMÓN Y CAJAL	AVENIDA	1	2	41°39'21.8"N 4°43'14.0"W	11:20	11:35	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P:9 C:184 M:7
180509_0085	983	VIAS LOCALES SEGREGADAS	351	MADRE DE DIOS	CALLE	1	2	41°39'29.2"N 4°43'03.3"W	11:39	11:54	Cielo cubierto, sensación sonora molesta.	P:8 C:226 M:4
180509_0086	986	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	501	REAL DE BURGOS	CALLE	2	2	41°39'24.0"N 4°43'03.5"W	11:58	12:13	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P:4 C:110 M:3
180509_0087	982	VIAS LOCALES SEGREGADAS	485	PRADO DE LA MAGDALENA	PASEO	1	2	41°39'26.7"N 4°42'50.8"W	12:17	12:32	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P:5 C:171 M:6

Tabla 9. Resultados correspondientes a la zona 2 (2º recorrido).

REPRODUCCIÓN	FID	TIPOVIA	CODVIA	DESAYTO	TIPOAYTO	CLUSTER	ZONA	COORDENADAS	HORA INICIO	HORA FIN	OBSERVACIONES	Nº VEHÍCULOS
180502_0056	861	VIAS LOCALES SEGREGADAS	299	HUELGAS	CALLE	1	2	41°39'11.1"N 4°42'57.9"W	9:37	9:52	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P:5 C:157 M:7
180502_0057	1010	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	93	CARDENAL MENDOZA	CALLE	2	2	41°39'06.9"N 4°43'06.8"W	9:59	10:14	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P:2 C:168 M:4
180502_0058	1475	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	345	LOPEZ GOMEZ	CALLE	2	2	41°38'58.9"N 4°43'26.9"W	10:22	10:37	Cielo cubierto, sensación sonora molesta.	P:15 C:208 M:13
180502_0059	1142	VIAS LOCALES PEATONALES O DE COEXISTENCIA	180	DUQUE DE LA VICTORIA	CALLE	1	2	41°39'02.4"N 4°43'36.1"W	10:43	10:58	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P:2 C:81 M:8
180502_0060	822	VIAS LOCALES SEGREGADAS	259	GAMAZO	CALLE	1	2	41°38'49.3"N 4°43'33.8"W	11:05	11:20	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P:3 C:150 M:7
180502_0061	1080	VIAS LOCALES SEGREGADAS	392	MIGUEL ÍSCAR	CALLE	1	2	41°38'54.9"N 4°43'35.5"W	11:24	11:39	Cielo cubierto, sensación sonora molesta.	P:13 C:188 M:11
180502_0062	1145	VIAS LOCALES PEATONALES O DE COEXISTENCIA	370	MARIA DE MOLINA	CALLE	1	2	41°38'59.2"N 4°43'49.8"W	11:45	12:00	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P:1 C:82 M:4
180502_0063	88	VIAS PRINCIPALES - AVENIDAS	656	ZORRILLA	PASEO	3	2	41°38'49.7"N 4°43'52.7"W	12:05	12:20	Cielo cubierto, sensación sonora molesta.	P:14 C:554 M:21
180502_0064	521	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	267	ACERA DE RECOLETOS	CALLE	2	2	41°38'47.7"N 4°43'41.8"W	12:24	12:39	Cielo cubierto, sensación sonora agradable.	P:4 C:34 M:8

Caracterización subjetiva de paisajes sonoros de Valladolid

Tabla 10. Resultados correspondientes a la zona 3.

REPRODUCCIÓN	FID	TIPOVIA	CODVIA	DESAYTO	TIPOAYTO	CLUSTER	ZONA	COORDENADAS	HORA INICIO	HORA FIN	OBSERVACIONES	Nº VEHÍCULOS
180503_0066	422	VIAS LOCALES SEGREGADAS	511	REYES CATÓLICOS	AVENIDA	1	3	41°38'34.0"N 4°44'22.1"W	9:33	9:48	Cielo cubierto, sensación sonora agradable.	P: 1 C: 50 M: 7
180503_0067	425	VIAS LOCALES SEGREGADAS	435	PADRE FRANCISCO	CALLE	1	3	41°38'35.8"N 4°44'15.0"W	9:52	10:07	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P: 1 C: 24 M: 0
180503_0068	520	VIAS PRINCIPALES - AVENIDAS	261	HOSPITAL MILITAR	PASEO	3	3	41°38'37.2"N 4°44'03.6"W	10:12	10:27	Cielo cubierto, sensación sonora molesta.	P: 12 C: 404 M: 3
180503_0069	1295	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	236	FILIPINOS	PASEO	2	3	41°38'39.6"N 4°43'51.2"W	10:35	10:50	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P: 10 C: 261 M: 10
180503_0070	523	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	503	RECONDO	CALLE	2	3	41°38'33.3"N 4°43'40.8"W	10:58	11:13	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P: 11 C: 266 M: 9
180503_0071	823	VIAS LOCALES SEGREGADAS	215	ESTACIÓN	CALLE	1	3	41°38'38.8"N 4°43'16.8"W	11:20	11:35	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P: 3 C: 139 M: 6
180503_0072	798	VIAS LOCALES SEGREGADAS	334	LABRADORES	CALLE	1	3	41°38'43.0"N 4°43'15.1"W	11:37	11:52	Cielo cubierto, sensación sonora molesta.	P: 7 C: 218 M: 8
180503_0073	1654	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	1261	SEGOVIA	AVENIDA	2	3	41°38'31.5"N 4°43'16.0"W	11:57	12:12	Cielo cubierto, sensación sonora molesta.	P: 8 C: 214 M: 10
180503_0074	637	VIAS LOCALES SEGREGADAS	228	FARNESIO	PASEO	1	3	41°38'25.6"N 4°43'16.6"W	12:17	12:32	Cielo cubierto, sensación sonora molesta.	P: 6 C: 298 M: 12

Tabla 11. Resultados correspondientes a la zona 4.

REPRODUCCIÓN	FID	TIPOVIA	CODVIA	DESAYTO	TIPAYTO	CLUSTER	ZONA	COORDENADAS	HORA INICIO	HORA FIN	OBSERVACIONES	Nº VEHÍCULOS
170914_011	282	VIAS LOCALES SEGREGADAS	1058	Velasco Martín	CALLE	1	4	41°38'57.1"N 4°44'18.3"W	9:56	10:11	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P:2 C:95 M:0
170914_0012	283	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	1127	Miguel Ángel Blanco	AVDA	2	4	41°38'60.0"N 4°44'12.4"W	10:19	10:34	Cielo cubierto, sensación sonora molesta.	P:5 C:184 M:6
170914_0014	71	VIAS PRINCIPALES - AVENIDAS	523	Salamanca	AVDA	3	4	41°39'08.6"N 4°44'17.1"W	10:44	10:59	Cielo cubierto, sensación sonora molesta.	P:12 C:437 M:6
170914_0015	293	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	959	Vicente Mortes	AVDA	2	4	41°39'16.0"N 4°44'23.5"W	11:08	11:23	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P:1 C:96 M:2
170914_0016	69	-	390	Mieses	CALLE	1	4	41°39'16.5"N 4°44'36.3"W	11:28	11:43	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P:11 C:137 M:4
170914_0017	68	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	115	Cerros	AVDA	2	4	41°39'18.2"N 4°44'43.0"W	11:47	12:02	Cielo cubierto, sensación sonora agradable. Alguna molestia debido a camión de la basura.	P:4 C:21 M:1
170914_0018	66	VIAS PRINCIPALES - AVENIDAS	141	Contiendas	AVDA	3	4	41°39'22.3"N 4°44'52.6"W	12:07	12:22	Cielo cubierto, sensación sonora agradable.	P:5 C:14 M:2
170914_0019	73	VIAS PRINCIPALES - AVENIDAS	273	Gijón	AVDA	3	4	41°39'39.2"N 4°44'40.3"W	12:33	12:48	Cielo cubierto, sensación sonora muy molesta.	P:13 C:218 M:14
170914_0020	370	VIAS LOCALES SEGREGADAS	66	Burgos	AVDA	1	4	41°39'46.8"N 4°43'55.2"W	13:03	13:18	Cielo cubierto, sensación sonora molesta.	P:20 C:358 M:9

10. Cálculo de parámetros acústicos y psicoacústicos.

Para el cálculo de los parámetros acústicos y psicoacústicos necesarios se ha utilizado el programa MATLAB.

MATLAB es una herramienta de software matemático que ofrece altas prestaciones para el cálculo numérico. Es un programa interactivo capaz de realizar elevados cálculos matemáticos además de ofrecer una visualización gráfica de los mismos. Ofrece un entorno fácil de usar, donde los problemas y soluciones se muestran tal y como se escriben matemáticamente sin la programación tradicional. Además, se pueden ampliar las funciones de MATLAB con los toolboxes, que son paquetes más especializados en determinados campos de la ciencia que amplían el software básico.

Debido a las características y funciones que nos ofrece dicho programa se ha decidido utilizarlo en la realización de este estudio. Además, se cuenta con la colaboración de Daniel de la Prida. Aunque él, en el cálculo de los parámetros psicoacústicos para la caracterización de los paisajes sonoros de Madrid, utilizó el programa de Brüel & Kjaer, un software comercial de análisis de datos de ruido ambiental al que no se ha podido tener acceso a la hora de realizar el presente estudio.

Se realizan los cálculos necesarios con MATLAB y posteriormente se hace una comprobación con el fin de ver si los resultados que nos ofrecen las funciones de MATLAB son válidos. Dicha comprobación se realiza con la ayuda de Daniel de la Prida, quién nos facilita los datos que se obtienen con el programa de Brüel & Kjaer de tres de las grabaciones para su comparación con los datos obtenidos con MATLAB comprobándose que eran similares.

10.1 Cálculo del valor de calibración.

Se utiliza el código denominado “calibrator” (figura 16), cuyo fin es obtener un valor de calibración para los posteriores cálculos en MATLAB de los parámetros psicoacústicos.

Cuando se realiza la calibración en cámara semianecoica se obtiene una grabación de 30 segundos. Se sabe que en el punto donde se realiza la grabación el nivel sonoro es de 74.8 dB, ya que ese es el valor que mide el sonómetro al colocarlo en dicho punto. Con estos dos datos se implementa el código y se obtiene el valor de calibración, número que posteriormente se introduce en los códigos que calculan los diferentes parámetros acústicos y psicoacústicos. Este parámetro es un valor de corrección que permite obtener

el valor real de la función del sonido grabado. El código “calibrator” también devuelve una variable de control, esta variable simplemente informa del nivel que se tiene para ese valor de calibración y poder así comprobar si coincide con el valor medido.

Desarrollo

Se introduce el siguiente comando:

```
function [calib_o check_o ] = calibrator(path_o, calib_val,ch)
```

Se tienen las siguientes variables de entrada:

- *Path_o*: en ella se introduce la ruta del archivo de audio.
- *Calib_val*: se utiliza para poner el valor del nivel de presión medido con el sonómetro, 74.8 dB.
- *Ch*: esta variable sirve para seleccionar el canal de audio, 1 para el oído izquierdo y 2 para el derecho.

Una vez ejecutado el programa se obtienen dos variables de salida:

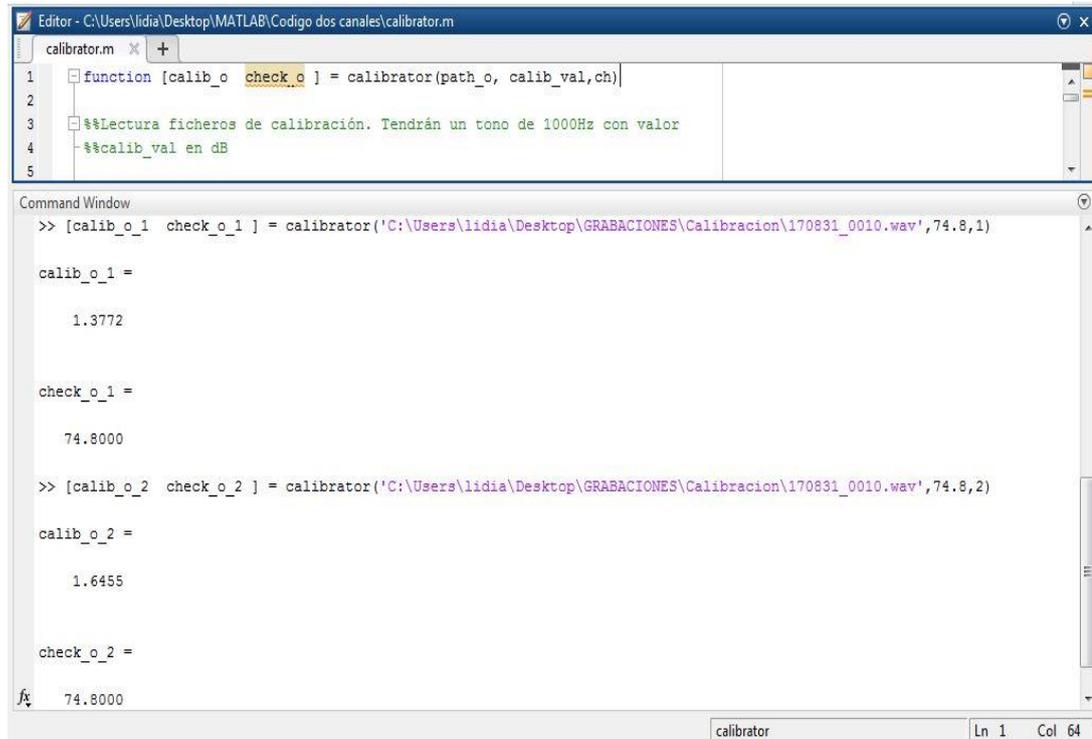
- *Calib_o*: es el valor de calibración, número por el que posteriormente se multiplican las muestras para obtener el valor correcto en dB.
- *Check_o*: es un valor de comprobación. El programa multiplica las muestras de ese archivo por el valor de calibración calculado y devuelve en dicha variable el valor obtenido para poder comprobar si coincide con el valor medido.

Resultados

Tabla 12. Resultados del valor de calibración.

	calib_o	check_o
Oído izquierdo (1)	1,3772	74,8000
Oído derecho (2)	1,6455	74,8000

En la tabla 12 se puede observar que el valor de calibración para ambos oídos es similar. Si hubiese una gran diferencia entre ambos valores supondría que podría haber surgido algún error con el proceso de calibración o con el dispositivo.



The screenshot shows the MATLAB Editor window with a file named 'calibrator.m'. The code in the editor is as follows:

```
1 function [calib_o check_o] = calibrator(path_o, calib_val, ch)
2
3 %%Lectura ficheros de calibración. Tendrán un tono de 1000Hz con valor
4 %%calib_val en dB
5
```

The Command Window shows the execution of the function for two different channels:

```
>> [calib_o_1 check_o_1] = calibrator('C:\Users\lidia\Desktop\GRABACIONES\Calibracion\170831_0010.wav', 74.8, 1)

calib_o_1 =

    1.3772

check_o_1 =

    74.8000

>> [calib_o_2 check_o_2] = calibrator('C:\Users\lidia\Desktop\GRABACIONES\Calibracion\170831_0010.wav', 74.8, 2)

calib_o_2 =

    1.6455

check_o_2 =

    74.8000
```

Figura 16. Implementación del código “calibrator” en MATLAB.

10.2. Cálculo del nivel de presión sonora (dB).

Dicho nivel de presión sonora se calcula en MATLAB con el archivo “SPL_calc” (figura 17). El objetivo es obtener el nivel, en decibelios, de lo grabado en la calle y el perfil que tiene, es decir, la representación temporal del nivel de presión durante los 15 minutos de grabación.

Desarrollo

Para el cálculo del nivel de presión sonora primero necesitamos modificar el código. En la variable definida como *calib* hay que poner el valor de calibración adecuado. En primer lugar, se pone *calib*=1.3772 y se calculan los valores del nivel de presión sonora para el oído izquierdo, posteriormente se modifica este valor poniendo *calib*=1.6455 y se halla el nivel de la calle para el oído derecho.

Hay que ejecutar el código para cada grabación dos veces, una por cada canal de audio, el izquierdo y el derecho, y se obtienen 900 valores por cada canal. Lo que hace el código es dividir la grabación de 15 minutos en 900 “partes”, una por segundo, y por cada una de esas partes calcula el nivel de presión sonora en decibelios. Para ello utiliza un bucle *for* en el que a cada iteración muestra los valores en pantalla.

Una vez realizado ese cálculo representa esos 900 valores en una gráfica y se obtiene así la representación temporal del nivel de presión sonora ocurrido en dicha calle y en dicho período, los valores están en decibelios y el tiempo en segundos.

El comando a introducir es el siguiente:

```
function [samp_tmp_dB]=SPL_calc(root,ch)
```

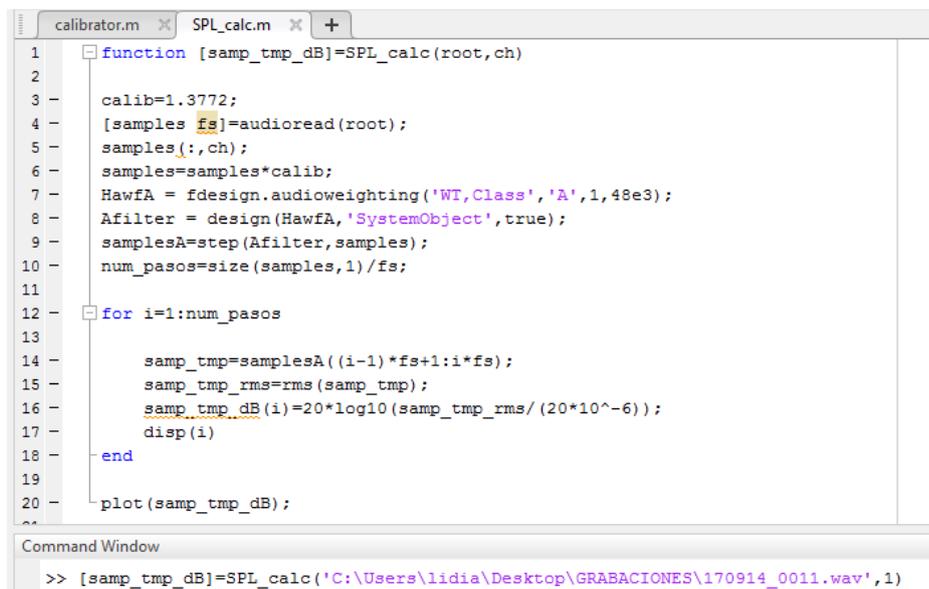
Las entradas que este código requiere son:

- *Root*: es la ruta del archivo de audio.
- *Ch*: variable que permite seleccionar el canal de audio. Al igual que en el caso anterior se designa con un 1 cuando se refiere al oído izquierdo y con un 2 cuando es el oído derecho.

Las salidas que devuelve el código son:

- *Samp_tmp_dB*: Un vector con 900 valores del nivel de presión en decibelios.
- Una gráfica que representa el perfil de la calle.

Esto por cada canal, ya que se ejecuta el mismo archivo para ambos canales. Simplemente se cambia la variable de entrada *ch* indicando el canal de audio y dentro del código se modifica el valor de calibración correspondiente a cada canal.



```

1 function [samp_tmp_dB]=SPL_calc(root,ch)
2
3     calib=1.3772;
4     [samples fs]=audioread(root);
5     samples(:,ch);
6     samples=samples*calib;
7     HawfA = fdesign.audioweighting('WT,Class','A',1,48e3);
8     Afilter = design(HawfA,'SystemObject',true);
9     samplesA=step(Afilter,samples);
10    num_pasos=size(samples,1)/fs;
11
12    for i=1:num_pasos
13
14        samp_tmp=samplesA((i-1)*fs+1:i*fs);
15        samp_tmp_rms=rms(samp_tmp);
16        samp_tmp_dB(i)=20*log10(samp_tmp_rms/(20*10^-6));
17        disp(i)
18    end
19
20    plot(samp_tmp_dB);

```

Command Window

```
>> [samp_tmp_dB]=SPL_calc('C:\Users\lidia\Desktop\GRABACIONES\170914_0011.wav',1)
```

Figura 17. Implementación del código “SPL_calc” en MATLAB para el oído izquierdo.

Interesa, además del perfil de la calle, obtener un valor promedio del nivel de presión sonora por cada grabación y canal, ya que el programa calcula un valor por cada segundo. Esto no se puede realizar con la función media de MATLAB, ya que esta función realiza una media aritmética, es decir, suma todos los valores calculados y los divide entre el número de valores. La presión sonora, como se ha explicado anteriormente, se representa en base logarítmica por lo que no se pueden sumar directamente los valores obtenidos. Para hallar un valor promedio con el que poder analizar y comparar las diferentes tomas de audio se necesita antes transformar esta función logarítmica. Para ello se realiza lo siguiente:

- Primero se multiplican cada uno de los 900 valores que forman el vector devuelto por la función "SPL_calc" por la siguiente expresión.

$$10^{(0.1*X)}$$

Siendo X cada uno de los valores calculados en dB.

- Posteriormente se suman todos los valores ya transformados pertenecientes al mismo vector.
- Por último, se aplica la siguiente expresión:

$$10 * \log_{10} \left(\frac{1}{n} \right) * SUMA$$

n: es el número de valores del vector

SUMA: es el valor de la suma de todos los números pertenecientes al mismo vector (calculada en el paso 2).

La realización de estos pasos se va a desarrollar en un archivo Excel, después de haber realizado los cálculos necesarios en MATLAB. Tras estos pasos se obtiene un valor promedio de la presión sonora por cada grabación realizada y por cada canal de audio.

Resultados

Para el cálculo de los resultados se procede de la siguiente manera:

Primero se implementa la función SPL_calc, como se ha explicado anteriormente, y se obtiene una gráfica del perfil de la calle y un vector formado por el valor en decibelios de cada segundo de grabación. Al implementarlo una vez se obtiene los resultados correspondientes a una de las grabaciones y a un canal de audio, por lo que hay que implementarla dos veces por cada grabación.

A continuación, se guarda la gráfica del perfil de la calle y se copia el vector en un archivo de Excel, se realiza esto cada una de las veces que se desarrolla la función. Cuando se tienen todos los valores en el archivo Excel se realizan los pasos explicados anteriormente para calcular el valor promedio. El resultado es un Excel en el que se tienen el nivel promedio de presión sonora por cada canal de audio.

En las tablas 13 y 14 se muestran los resultados obtenidos del nivel de presión sonora para cada canal, además se indica el FID (registro de cada grabación) y el nombre y tipo de la vía.

Tabla 13. Resultados del nivel de presión sonora parte I.

FID	TIPOVIA	DESAYTO	TIPOAYTO	PROMEDIO DEL NIVEL DE PRESIÓN SONORA (dB)	
				CANAL IZQUIERDO	CANAL DERECHO
922	VIAS LOCALES SEGREGADAS	CARDENAL CISNEROS	CALLE	89,15	90,70
950	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	MIRABEL	CALLE	83,93	85,48
953	VIAS LOCALES SEGREGADAS	RONDILLA STA TERESA	CALLE	91,06	92,60
942	VIAS COLECTORA - ARTERIAS	PORTILLO DE BALBOA	CALLE	89,15	82,55
984	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	PALENCIA	AVDA	90,54	92,08
965	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	AMOR DE DIOS	CALLE	83,11	84,65
1107	VIAS LOCALES SEGREGADAS	ISABEL LA CATÓLICA	PASEO	92,55	94,10
1051	VIAS LOCALES SEGREGADAS	SAN QUIRCE	CALLE	89,56	91,11
1092	VIAS LOCALES SEGREGADAS	SAN IGNACIO	CALLE	81,23	82,78
1058	VIAS LOCALES SEGREGADAS	FELIPE II	CALLE	86,83	88,37
1063	VIAS LOCALES SEGREGADAS	ANGUSTIAS	CALLE	88,18	89,73
1007	VIAS LOCALES SEGREGADAS	RAMÓN Y CAJAL	AVENIDA	84,83	86,38
983	VIAS LOCALES SEGREGADAS	MADRE DE DIOS	CALLE	91,01	92,55
986	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	REAL DE BURGOS	CALLE	84,00	85,54
982	VIAS LOCALES SEGREGADAS	PRADO DE LA MAGDALENA	PASEO	92,55	88,07
861	VIAS LOCALES SEGREGADAS	HUELGAS	CALLE	89,42	90,97
1010	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	CARDENAL MENDOZA	CALLE	89,34	90,89
1475	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	LOPEZ GOMEZ	CALLE	94,82	96,37
1142	VIAS LOCALE PEATONALES O DE COEXISTENCIA	DUQUE DE LA VICTORIA	CALLE	87,71	89,26
822	VIAS LOCALES SEGREGADAS	GAMAZO	CALLE	87,11	88,66
1080	VIAS LOCALES SEGREGADAS	MIGUEL ÍSCAR	CALLE	92,79	94,34

Tabla 14. Resultados del nivel de presión sonora parte II.

FID	TIPOVIA	DESAYTO	TIPOAYTO	PROMEDIO DEL NIVEL DE PRESIÓN SONORA (dB)	
				CANAL IZQUIERDO	CANAL DERECHO
1145	VIAS LOCALES PEATONALES O DE COEXISTENCIA	MARIA DE MOLINA	CALLE	85,25	86,80
88	VIAS PRINCIPALES - AVENIDAS	ZORRILLA	PASEO	91,69	93,23
521	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	ACERA DE RECOLETOS	CALLE	87,58	89,12
422	VIAS LOCALES SEGREGADAS	REYES CATÓLICOS	AVENIDA	83,24	84,79
425	VIAS LOCALES SEGREGADAS	PADRE FRANCISCO	CALLE	83,27	84,82
520	VIAS PRINCIPALES - AVENIDAS	HOSPITAL MILITAR	PASEO	90,44	91,99
1295	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	FILIPINOS	PASEO	89,76	91,30
523	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	RECONDO	CALLE	91,91	93,46
823	VIAS LOCALES SEGREGADAS	ESTACIÓN	CALLE	85,46	87,01
798	VIAS LOCALES SEGREGADAS	LABRADORES	CALLE	92,72	94,27
1654	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	SEGOVIA	AVENIDA	89,78	91,33
637	VIAS LOCALES SEGREGADAS	FARNESIO	PASEO	93,92	95,46
282	VIAS LOCALES SEGREGADAS	VELASCO MARTÍN	CALLE	80,22	81,77
283	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	MIGUEL ÁNGEL BLANCO	AVDA	88,38	89,92
71	VIAS PRINCIPALES - AVENIDAS	SALAMANCA	AVDA	95,87	97,41
293	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	VICENTE MORTÉS	AVDA	88,06	89,61
69	-	MIeses	CALLE	87,13	88,68
68	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	CERROS	AVDA	83,68	85,23
66	VIAS PRINCIPALES - AVENIDAS	CONTIENDAS	AVDA	84,00	85,54
73	VIAS PRINCIPALES - AVENIDAS	GIJÓN	AVDA	92,60	94,15
370	VIAS LOCALES SEGREGADAS	BURGOS	AVDA	91,21	92,76

10.3. Cálculo del Loudness y Sharpness.

El loudness y el sharpness se calculan en MATLAB en una misma función denominada “calculation_loudness.m” (figura 18).

Desarrollo

El programa divide el archivo en dos canales de audios, el correspondiente al oído izquierdo y al derecho con el fin de calcular a la vez los dos canales y no tener que introducir el comando dos veces por cada grabación para calcular primero un canal de audio y luego el otro como se ha hecho anteriormente.

Posteriormente, dicha función lo que hace es llamar a otras dos funciones, una de ellas que calcula el loudness y la otra el sharpness.

El archivo “calculation_loudness.m” calcula el percentil 5, 50 y 95 de ambos parámetros para los dos canales de audio. El percentil 50 del loudness se corresponde con el valor medio del loudness.

El comando que hay que introducir en la ventana de MATLAB para llamar a la función es el siguiente:

```
function [N5_tot_ch1 N50_tot_ch1 N95_tot_ch1 N5_tot_ch2
N50_tot_ch2 N95_tot_ch2 S5_Z_ch1 S50_Z_ch1 S95_Z_ch1 S5_Z_ch2
S50_Z_ch2 S95_Z_ch2]=calculation_loudness(root, calib_ch1,
calib_ch2)
```

Las entradas de la función “calculation_loudness” de MATLAB son las siguientes:

- *Root*: en ella se introduce la ruta del archivo de audio que se quiere procesar.
- *Calib_ch1*: espacio destinado para introducir el valor de calibración para el canal 1, es decir, el oído izquierdo. (En este caso 1.3772, calculado en el apartado “Cálculo del valor de calibración”).
- *Calib_ch2*: variable en la que se introduce el valor de calibración del oído derecho o canal 2. (Cuyo valor es 1.6455, también calculado en el apartado “Cálculo del valor de calibración”).

En esta función, a diferencia de las anteriores, se debe introducir a la vez como variables de entrada el valor de calibración de los dos canales. Luego internamente el programa se encarga de dividir el archivo en los dos canales y calcular ambos en un mismo paso.

Los parámetros que calcula la función son los siguientes:

- *N5_tot_ch1*: percentil 5 del loudness de tiempo variante para el oído izquierdo.
- *N50_tot_ch1*: percentil 50 de loudness de tiempo variante para el oído izquierdo.
- *N95_tot_ch1*: percentil 95 del loudness de tiempo variante para el canal izquierdo.
- *N5_tot_ch2*: percentil 5 del loudness de tiempo variante para el oído derecho.
- *N50_tot_ch2*: percentil 50 de loudness de tiempo variante para el oído derecho.
- *N95_tot_ch2*: percentil 95 del loudness de tiempo variante para el canal derecho.
- *S5_Z_ch1*: percentil 5 del sharpness de tiempo variante para el canal izquierdo.
- *S50_Z_ch1*: percentil 50 del sharpness de tiempo variante para el oído izquierdo.
- *S95_Z_ch1*: percentil 95 del sharpness de tiempo variante para el canal izquierdo.
- *S5_Z_ch2*: percentil 5 del sharpness de tiempo variante para el oído derecho.
- *S50_Z_ch2*: percentil 50 del sharpness de tiempo variante para el oído derecho.
- *S95_Z_ch2*: percentil 95 del sharpness de tiempo variante para el canal derecho.

```

1 function [N5_tot_ch1 N50_tot_ch1 N95_tot_ch1 N5_tot_ch2 N50_tot_ch2 N95_tot_ch2 S5_Z_ch1 S50_Z_ch1 S95_Z_ch1 S5_Z_c
2 [signal FS]=audioread(root);
3 signal_ch1=signal(:,1);
4 signal_ch2=signal(:,2);
5 signal_ch1=signal_ch1*calib_ch1;
6 signal_ch2=signal_ch2*calib_ch2;
7 %[N_tot, N_specif, ~, ~] = Loudness_ISO532B_from_sound(signal, FS, 0);
8 res_ch1 = Loudness_TimeVaryingSound_Zwicker(signal_ch1, FS, 'head', 'free');
9 res_ch2 = Loudness_TimeVaryingSound_Zwicker(signal_ch2, FS, 'head', 'free');
10 %N_tot_v=res.Nx;
11 N50_tot_ch1=prctile(res_ch1.InstantaneousLoudness,50);
12 N50_tot_ch2=prctile(res_ch2.InstantaneousLoudness,50);
13 N5_tot_ch1=prctile(res_ch1.InstantaneousLoudness,5);
14 N5_tot_ch2=prctile(res_ch2.InstantaneousLoudness,5);
15 N95_tot_ch1=prctile(res_ch1.InstantaneousLoudness,95);
16 N95_tot_ch2=prctile(res_ch2.InstantaneousLoudness,95);
17 sharp_tmp_ch1=res_ch1.InstantaneousSpecificLoudness;
18 sharp_tmp_ch2=res_ch2.InstantaneousSpecificLoudness;
19 for i=1:size(sharp_tmp_ch1,1)
20 [~, ~, sharp_Z_ch1(i)] = sharpness_Fast1(sharp_tmp_ch1(i,:), N50_tot_ch1);
21 [~, ~, sharp_Z_ch2(i)] = sharpness_Fast1(sharp_tmp_ch2(i,:), N50_tot_ch2);
22 end

```

Command Window

```

fx 1 S5_Z_ch2 S50_Z_ch2 S95_Z_ch2]=calculation_loudness('C:\Users\lidia\Desktop\GRABACIONES\170914_0011.wav', 1.3772, 1.6455)

```

Figura 18. Implementación del código “calculation_loudness” en MATLAB

Resultados

Los parámetros calculados se muestran a continuación:

En las tablas 15 y 16 aparecen los resultados relativos al parámetro loudness y en las tablas 17 y 18 los valores del sharpness.

Para simplificar las tablas el loudness se ha denotado con la letra L y el sharpness con la S, y para cada uno de los percentiles se ha escrito el número correspondiente. Así el percentil 5 del loudness se ha escrito como L5, el percentil 5 del sharpness como S5 y de igual manera con el resto de parámetros.

Tabla 15. Resultados de los percentiles del loudness parte I.

FID	TIPOVIA	DESAYTO	TIPOAYTO	L5		L50		L95	
				CANAL IZQ.	CANAL DCHO.	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.
922	VIAS LOCALES SEGREGADAS	CARDENAL CISNEROS	CALLE	12,26	13,44	22,46	24,41	36,49	36,86
950	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	MIRABEL	CALLE	6,30	6,29	12,31	11,46	25,16	22,51
953	VIAS LOCALES SEGREGADAS	RONDILLA STA TERESA	CALLE	9,75	9,32	21,69	20,61	37,45	36,81
942	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	PORTILLO DE BALBOA	CALLE	9,18	8,89	12,92	11,85	19,75	18,10
984	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	PALENCIA	AVDA	13,19	13,31	20,51	20,55	37,14	37,75
965	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	AMOR DE DIOS	CALLE	7,51	8,29	13,16	14,78	23,79	25,78
1107	VIAS LOCALES SEGREGADAS	ISABEL LA CATÓLICA	PASEO	15,54	15,38	25,42	23,41	39,59	36,02
1051	VIAS LOCALES SEGREGADAS	SAN QUIRCE	CALLE	8,37	9,07	19,26	19,94	37,81	37,53
1092	VIAS LOCALES SEGREGADAS	SAN IGNACIO	CALLE	7,19	6,82	9,82	9,79	22,36	23,00
1058	VIAS LOCALES SEGREGADAS	FELIPE II	CALLE	10,47	10,75	15,87	16,25	32,14	29,15
1063	VIAS LOCALES SEGREGADAS	ANGUSTIAS	CALLE	11,80	12,05	18,50	18,58	33,79	33,68
1007	VIAS LOCALES SEGREGADAS	RAMÓN Y CAJAL	AVENIDA	11,60	11,77	17,92	18,07	28,03	28,74
983	VIAS LOCALES SEGREGADAS	MADRE DE DIOS	CALLE	12,96	13,90	23,19	23,52	34,97	35,46
986	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	REAL DE BURGOS	CALLE	8,20	8,33	13,65	13,38	27,01	26,91
982	VIAS LOCALES SEGREGADAS	PRADO DE LA MAGDALENA	PASEO	11,00	11,16	18,26	17,72	30,12	29,32
861	VIAS LOCALES SEGREGADAS	HUELGAS	CALLE	9,96	9,74	20,58	22,01	35,31	38,45
1010	VIAS COLECTORAS – ARTERIAS	CARDENAL MENDOZA	CALLE	12,49	13,14	21,88	21,26	35,74	35,55
1475	VIAS COLECTORAS – ARTERIAS	LOPEZ GOMEZ	CALLE	14,83	15,06	34,02	34,60	48,43	50,10
1142	VIAS LOCALES PEATONALES O DE COEXISTENCIA	DUQUE DE LA VICTORIA	CALLE	9,52	9,36	17,32	17,42	32,80	34,40
822	VIAS LOCALES SEGREGADAS	GAMAZO	CALLE	12,86	13,44	19,96	21,54	31,61	32,43
1080	VIAS LOCALES SEGREGADAS	MIGUEL ÍSCAR	CALLE	15,93	17,16	28,47	29,85	44,24	46,05

Tabla 16. Resultados de los percentiles del loudness parte II.

FID	TIPOVIA	DESAYTO	TIPOAYTO	L5		L50		L95	
				CANAL IZQ.	CANAL DCHO.	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.
1145	VIAS LOCALES PEATONALES O DE COEXISTENCIA	MARIA DE MOLINA	CALLE	13,76	13,99	18,39	19,01	25,90	26,53
88	VIAS PRINCIPALES - AVENIDAS	ZORRILLA	PASEO	16,29	16,81	27,36	27,83	37,36	38,72
521	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	ACERA DE RECOLETOS	CALLE	11,78	11,01	17,69	18,38	31,91	35,67
422	VIAS LOCALES SEGREGADAS	REYES CATÓLICOS	AVENIDA	7,49	6,98	12,50	11,55	24,66	26,02
425	VIAS LOCALES SEGREGADAS	PADRE FRANCISCO	CALLE	7,71	7,98	11,11	11,15	25,66	27,09
520	VIAS PRINCIPALES - AVENIDAS	HOSPITAL MILITAR	PASEO	15,17	15,13	23,76	24,26	36,88	39,91
1295	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	FILIPINOS	PASEO	13,69	14,25	20,70	22,31	37,08	38,96
523	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	RECONDO	CALLE	12,07	11,98	25,26	26,01	39,95	41,49
823	VIAS LOCALES SEGREGADAS	ESTACIÓN	CALLE	12,04	9,05	25,21	16,64	39,89	28,18
798	VIAS LOCALES SEGREGADAS	LABRADORES	CALLE	8,89	17,28	15,84	30,77	27,35	45,67
1654	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	SEGOVIA	AVENIDA	16,59	10,19	29,24	22,44	43,02	38,77
637	VIAS LOCALES SEGREGADAS	FARNESIO	PASEO	9,67	14,46	21,52	31,33	35,97	50,78
282	VIAS LOCALES SEGREGADAS	VELASCO MARTÍN	CALLE	13,95	9,30	29,41	14,97	47,11	30,28
		MIGUEL ÁNGEL							
283	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	BLANCO	AVDA	8,25	10,51	12,34	16,24	21,14	27,41
71	VIAS PRINCIPALES - AVENIDAS	SALAMANCA	AVDA	12,04	9,98	18,51	21,95	33,32	41,52
293	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	VICENTE MORTÉS	AVDA	10,32	9,20	23,09	17,62	49,55	31,81
69	-	MIESES	CALLE	9,23	9,40	16,61	16,56	31,62	29,70
68	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	CERROS	AVDA	9,55	10,43	16,19	15,13	30,26	24,04
66	VIAS PRINCIPALES - AVENIDAS	CONTIENDAS	AVDA	3,78	3,83	7,61	7,66	27,51	28,32
73	VIAS PRINCIPALES - AVENIDAS	GIJÓN	AVDA	9,77	9,89	23,42	23,88	37,50	38,26
370	VIAS LOCALES SEGREGADAS	BURGOS	AVDA	15,05	15,81	23,12	24,32	38,52	40,31

Tabla 17. Resultados de los percentiles del sharpness parte I.

FID	TIPOVIA	DESAYTO	TIPOAYTO	S5		S50		S95	
				CANAL IZQ.	CANAL DCHO.	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.
922	VIAS LOCALES SEGREGADAS	CARDENAL CISNEROS	CALLE	1,21	1,24	1,41	1,53	1,73	1,89
950	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	MIRABEL	CALLE	1,08	1,08	1,30	1,28	1,60	1,64
953	VIAS LOCALES SEGREGADAS	RONDILLA STA TERESA	CALLE	1,14	1,13	1,34	1,33	1,69	1,66
942	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	PORTILLO DE BALBOA	CALLE	1,14	1,09	1,34	1,38	1,87	1,91
984	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	PALENCIA	AVDA	1,19	1,22	1,37	1,40	1,66	1,73
965	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	AMOR DE DIOS	CALLE	1,08	1,15	1,35	1,40	1,84	1,80
1107	VIAS LOCALES SEGREGADAS	ISABEL LA CATÓLICA	PASEO	1,17	1,15	1,31	1,31	1,51	1,53
1051	VIAS LOCALES SEGREGADAS	SAN QUIRCE	CALLE	1,09	1,11	1,33	1,34	1,64	1,72
1092	VIAS LOCALES SEGREGADAS	SAN IGNACIO	CALLE	1,20	1,20	1,40	1,42	1,78	1,89
1058	VIAS LOCALES SEGREGADAS	FELIPE II	CALLE	1,07	1,11	1,30	1,33	1,65	1,68
1063	VIAS LOCALES SEGREGADAS	ANGUSTIAS	CALLE	1,06	1,09	1,28	1,32	1,57	1,63
1007	VIAS LOCALES SEGREGADAS	RAMÓN Y CAJAL	AVENIDA	1,17	1,18	1,38	1,39	1,75	1,77
983	VIAS LOCALES SEGREGADAS	MADRE DE DIOS	CALLE	1,11	1,17	1,31	1,35	1,59	1,59
986	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	REAL DE BURGOS	CALLE	1,13	1,14	1,30	1,30	1,62	1,59
982	VIAS LOCALES SEGREGADAS	PRADO DE LA MAGDALENA	PASEO	1,09	1,11	1,29	1,29	1,64	1,66
861	VIAS LOCALES SEGREGADAS	HUELGAS	CALLE	1,15	1,19	1,33	1,43	1,60	1,78
1010	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	CARDENAL MENDOZA	CALLE	1,10	1,15	1,31	1,38	1,57	1,67
1475	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	LOPEZ GOMEZ	CALLE	1,10	1,16	1,31	1,36	1,61	1,70
1142	VIAS LOCALES PEATONALES O DE COEXISTENCIA	DUQUE DE LA VICTORIA	CALLE	1,15	1,18	1,35	1,42	1,83	1,87
822	VIAS LOCALES SEGREGADAS	GAMAZO	CALLE	1,14	1,21	1,31	1,41	1,58	1,67
1080	VIAS LOCALES SEGREGADAS	MIGUEL ÍSCAR	CALLE	1,04	1,14	1,24	1,32	1,49	1,59

Tabla 18. Resultados de los percentiles del sharpness parte II.

FID	TIPOVIA	DESAYTO	TIPOAYTO	S5		S50		S95	
				CANAL IZQ.	CANAL DCHO.	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.
1145	VIAS LOCALES PEATONALES O DE COEXISTENCIA	MARIA DE MOLINA	CALLE	1,06	1,07	1,24	1,27	1,52	1,58
88	VIAS PRINCIPALES - AVENIDAS	ZORRILLA	PASEO	1,15	1,21	1,30	1,38	1,51	1,66
521	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	ACERA DE RECOLETOS	CALLE	0,84	0,82	1,26	1,31	1,63	1,82
422	VIAS LOCALES SEGREGADAS	REYES CATÓLICOS	AVENIDA	1,12	1,13	1,38	1,36	1,88	1,81
425	VIAS LOCALES SEGREGADAS	PADRE FRANCISCO	CALLE	1,08	1,10	1,23	1,29	1,54	1,70
520	VIAS PRINCIPALES - AVENIDAS	HOSPITAL MILITAR	PASEO	1,03	1,00	1,25	1,24	1,52	1,55
1295	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	FILIPINOS	PASEO	1,12	1,14	1,32	1,37	1,60	1,66
523	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	RECONDO	CALLE	1,08	1,20	1,31	1,44	1,60	1,75
823	VIAS LOCALES SEGREGADAS	ESTACIÓN	CALLE	1,08	1,08	1,31	1,30	1,60	1,65
798	VIAS LOCALES SEGREGADAS	LABRADORES	CALLE	1,04	1,07	1,23	1,34	1,53	1,67
1654	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	SEGOVIA	AVENIDA	1,00	1,07	1,24	1,35	1,55	1,68
637	VIAS LOCALES SEGREGADAS	FARNESIO	PASEO	1,05	1,08	1,28	1,27	1,59	1,58
282	VIAS LOCALES SEGREGADAS	VELASCO MARTÍN	CALLE	0,99	1,12	1,23	1,44	1,56	1,88
283	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	MIGUEL ÁNGEL BLANCO	AVDA	1,02	1,06	1,23	1,25	1,56	1,64
71	VIAS PRINCIPALES - AVENIDAS	SALAMANCA	AVDA	1,07	0,95	1,32	1,21	1,70	1,46
293	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	VICENTE MORTÉS	AVDA	0,98	0,76	1,25	1,14	1,53	1,49
69	-	MIESES	CALLE	0,79	0,93	1,11	1,19	1,52	1,55
68	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	CERROS	AVDA	0,92	1,00	1,15	1,28	1,46	1,59
66	VIAS PRINCIPALES - AVENIDAS	CONTIENDAS	AVDA	0,81	0,83	1,20	1,23	1,63	1,71
73	VIAS PRINCIPALES - AVENIDAS	GIJÓN	AVDA	0,89	0,92	1,07	1,09	1,25	1,27
370	VIAS LOCALES SEGREGADAS	BURGOS	AVDA	1,05	1,08	1,24	1,31	1,58	1,65

10.4. Cálculo del Roughness y fluctuation strength.

El roughness y el fluctuation strength no están normalizados, no hay ninguna normativa que desarrolle su cálculo, por lo que no se ha encontrado ningún programa de MATLAB que calcule dichos parámetros en un orden de magnitud comparable al que ofrece el programa de Brüel & Kjaer. Al tener un orden de magnitud diferente no va a ser posible la comparación posterior con el estudio realizado en Madrid o en otras ciudades. Por esto se ha decidido no calcularlos, ya que no es útil calcular unos parámetros que no están validados y que tampoco se pueden utilizar para hacer algo comparativo con otro estudio similar.

Al realizar el presente estudio nos encontramos con la necesidad de normalización de estos dos parámetros, al igual que sí que lo están el loudness y el sharpness. Hay varios autores que han desarrollado su código para el cálculo del roughness y el fluctuation strength pero con la ausencia de una normalización sirve de poco, ya que los resultados que ofrece cada método son de diferente orden de magnitud, para una misma grabación de audio podemos obtener un valor de 870 con un método y de 7 con otro, con tal diferencia se hace imposible llegar a alguna conclusión ya que ninguno de los métodos están validados y no se ha establecido cuál de ellos es el correcto.

En el caso de haberlos podido calcular habría que haber calculado los percentiles 5, 50 y 95 de ambos parámetros para la posterior realización de la categorización en función de parámetros psicoacústicos.

10.5. Comparación de resultados de MATLAB con los de otro programa de cálculo específico para parámetros acústicos (Brüel & Kjaer).

Antes de proseguir con el estudio, como se ha comentado anteriormente, se realiza con la ayuda de Daniel de la Prida una comprobación de resultados. El fin de este paso es comprobar si son similares a los obtenidos con el programa de Brüel & Kjaer, si se obtienen datos con mucho margen de error la categorización que se realice posteriormente no será correcta y por tanto, tampoco lo será el análisis de resultados.

Lo que se hace es seleccionar tres grabaciones al azar, las grabaciones cuyo FID corresponde a 984, 1063 y 983, y se obtiene el valor del loudness y el sharpness con el programa de Brüel & Kjaer. Posteriormente se comparan estos resultados con los obtenidos mediante las funciones de MATLAB y se observa que las diferencias son insignificantes, en el caso del loudness las diferencias son entorno a dos sonos, obteniéndose unos errores relativos para el FID 984 y 1063 de aproximadamente el 8% y para el 983 menor del 4%.

Como son errores menores al 10% se puede considerar que no son representativos. En el sharpness las diferencias aparecen en el segundo decimal y los errores obtenidos son menores, en el FID 984 y 983 es menor del 1% y en el 1063 en aproximadamente el 2,4%, por lo que está diferencia se puede considerar insignificante.

Tabla 19. Resultados del loudness y el sharpness con MATLAB y con Brüel y Kjaer.

FID	L50 (MATLAB)	L50 (Brüel & Kjaer)	S50 (MATLAB)	S50 (Brüel & Kjaer)
984	20,512	18,966	1,368	1,376
1063	18,496	17,103	1,284	1,253
983	23,189	24,093	1,308	1,300

En base a los resultados obtenidos se puede considerar que la elección del uso de MATLAB para el cálculo de los parámetros psicoacústicos ha sido una buena elección. Se puede proseguir con el estudio con la certeza de que las conclusiones que se obtengan se basan en resultados válidos y son comparables con los obtenidos con el programa de Brüel & Kjaer, por lo que se podrán realizar comparaciones entre resultados calculados con ambos programas en estudios posteriores.

10.6. Categorización en función de parámetros psicoacústicos.

La categorización en función de parámetros psicoacústicos también se realiza con MATLAB, con la función que ofrece el programa denominada *silhouette*.

Se realizan agrupaciones de los valores obtenidos en 3, 4, 5 y 6 grupos para posteriormente analizar cuál de ellas presenta mejores resultados. Aunque a la hora de realizar la clusterización en función de parámetros de tráfico y de parámetros arquitectónicos la clusterización se limitó a 3 grupos para facilitar la comparación con el clúster viario, en este caso se decide probar con más grupos para poder hacer un análisis más profundo de lo que ocurre con los parámetros psicoacústicos y no limitarse solo a la comparación con otras categorizaciones

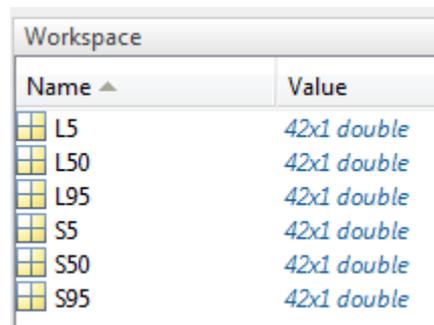
Desarrollo

Se parte de los valores calculados anteriormente, los percentiles 5, 50 y 95 del loudness, y los percentiles 5, 50 y 95 del sharpness. El nivel de presión sonora no se utiliza a la hora de realizar la categorización debido a que el objetivo es obtener una categorización sólo en base a parámetros psicoacústicos.

Como se ha mostrado en apartados anteriores, los resultados se han recogido en dos canales, uno para el canal izquierdo y otro para el derecho. En este paso,

para la realización de la categorización es necesario reunir los resultados de ambos canales y esto se consigue realizando el promedio de los dos canales, posteriormente la matriz se normaliza para poder compararlo con otras categorizaciones en base a otro tipo de parámetros con otros órdenes de magnitud.

El siguiente paso es importar los datos a MATLAB, para ello se utiliza la función *import data* que presenta un botón en la parte superior del programa. Sólo hay que seleccionar las columnas de las tablas relativas a los parámetros anteriormente mencionados, la denominación que hemos dado a cada grabación no es necesaria para realizar la clusterización. Realizado esto aparece en el apartado “workspace” de MATLAB una variable por cada uno de los parámetros, estas variables son vectores de dimensión 42x1, 42 líneas debido a que tenemos dicho número de grabaciones y 1 porque se presentan en una columna por parámetro. Se pueden ver la figura 19.



Name ▲	Value
L5	42x1 double
L50	42x1 double
L95	42x1 double
S5	42x1 double
S50	42x1 double
S95	42x1 double

Figura 19. Variables para la realización del clustering en MATLAB.

Una vez se tienen los datos importados en MATLAB en la ventana de comandos se introduce el siguiente comando:

```
cluster= [L5 L50 L95 S5 S50 S95]
```

Con él lo que se está haciendo es crear un vector llamado *cluster* en el que se introducen las variables que se han importado anteriormente, es decir, este vector contiene todos los valores de los percentiles 5, 50 y 95 del loudness y del sharpness de todas las grabaciones, ya que la categorización se va a realizar en función de los resultados de estos parámetros.

Posteriormente se introduce el siguiente comando:

```
cidx_3=kmeans(cluster,3,'distance','sqEuclidean')
```

Lo que hace este comando es agrupar las muestras incluidas en la variable *cluster* en el número de clústers que se le indique, en este caso 3. Para variar el número de clústers simplemente habrá que ir variando este número. El resto

de entradas de la función es para indicarle que utilice como criterio la distancia Euclídea entre muestras.

Este comando muestra por pantalla una serie de números, que se encuentran entre el intervalo 1-n, siendo n el número de clústers indicado en el comando. Cada número indica el número de clúster en el que se encuentra la muestra correspondiente. En la figura 20 se muestra dicho comando, debido a su extensión no aparecen los resultados de todas las muestras.

```
Command Window
>> cidx_3=kmeans(cluster,3,'distance','sqEuclidean')

cidx_3 =

     3
     1
     3
     1
     3
     1
     3
     3
     3
     3
     1
     3
     3
     3
     3
     2
     3
     3
     3
     1
     1
     3
     1
     3
     1
     1
     1
```

Figura 20. Pantalla del comando cidx_3.

A continuación se escribe el siguiente comando:

```
s_3=silhouette(cluster,cidx_3, 'sqEuclidean')
```

Este comando devuelve valores comprendidos en el intervalo [-1,1] para cada muestra (figura 21). Si una muestra presenta valores negativos significa que dicha muestra no está bien agrupada en el clúster que se le ha asignado, esto se debe a que el número de clúster elegido no es adecuado. En cambio, si la muestra presenta un valor positivo y cercano a 1 significa que la muestra está bien agrupada en ese clúster.

```

Command Window
>> s_3=silhouette(cluster,cidx_3, 'sqEuclidean')

s_3 =
    0.2782
    0.5285
    0.3693
    0.7243
    0.5573
    0.7674
    0.3238
    0.6949
    0.6981
    0.4158
    0.4810
    0.6663
   -0.2309
    0.7513
    0.2178
    0.7533
    0.1584
    0.7270
    0.3119
    0.4217
    0.3497
    0.7464
    0.5909
    0.0579

```

Figura 21. Pantalla de comando s_3.

Por último se introduce el comando:

```
silhouette(cluster, cidx_3)
```

Este comando muestra una gráfica con los valores de cidx_3, la gráfica sirve para observar visualmente las muestras que están bien y mal agrupadas en el clúster.

Los pasos anteriormente descritos se repiten 4 veces, para probar con 3, 4, 5 y 6 agrupaciones y después poder analizar cuál de ellas es la más precisa. Se ha empezado por seleccionar 3 clúster dado que es el número de clúster en los que se han clasificado las muestras atendiendo a parámetros varios. Se ha terminado con la selección de 6 clúster ya que con tan solo 42 muestras no tiene sentido realizar un número mayor de grupos.

En la ejecución de cada paso, los valores que devuelve el programa se han guardado en una variable dentro de MATLAB, y posteriormente, estos resultados se han agrupado en un Excel. También se guardan las gráficas que realiza el programa.

Resultados

Los resultados se presentan en el apartado “Análisis de las diferentes clusterizaciones en base a parámetros psicoacústicos” junto con su análisis.

11. Protocolo de trabajo para la obtención de parámetros psicoacústicos.

Se va a establecer un protocolo de trabajo que sirva como guía para la obtención de parámetros psicoacústicos con el fin de poder repetir el estudio en otros lugares y poder comparar los resultados.

El objetivo es destacar los puntos clave del estudio llevado a cabo y planificar una metodología a seguir.

Los pasos que se han de seguir en la obtención de parámetros psicoacústicos son los siguientes:

- ❖ Paso 1: Antes de comenzar con el cálculo de los parámetros psicoacústicos propiamente dicho, es necesario realizar una clasificación o clusterización de la ciudad en base a otros parámetros, como pueden ser parámetros viarios, con datos relativos a tipos de vía o parámetros arquitectónicos, como datos relativos a altura de los edificios, anchura de la calle y/o anchura del viario. Incluso se puede realizar una primera categorización en base a datos de tráfico de las diferentes zonas, si se dispusiera en un primer momento de estos datos. Cualquier otra característica que pudiera tener influencia en la percepción del ruido también puede ser usada para realizar una primera categorización.

El objetivo es tener una base que permita elegir adecuadamente los puntos donde realizar las mediciones. No se pueden elegir totalmente al azar ya que es necesario tener mediciones de las diferentes zonas dependiendo de la característica de partida elegida. Si los puntos se eligen al azar se corre el riesgo de que sean todos pertenecientes a zonas de similares características y a la hora de analizar los resultados no se tenga información suficiente sobre la influencia de los parámetros psicoacústicos.

- ❖ Paso 2: En base a la categorización de partida se seleccionan los puntos de grabación. Es necesario que haya puntos pertenecientes a todos los clústers y de todas las zonas o tipos definidos según la característica de partida elegida.
- ❖ Paso 3: Con los puntos ya seleccionados se procede a la toma de grabaciones sonoras. Es necesario establecer unas condiciones de contorno que determinen cómo se hará la toma de datos. Hay que definir las condiciones meteorológicas, el intervalo horario en el que se realizan y la duración de las mismas. Así como, la posición, en términos

generales, que tomará con respecto a la calle la persona responsable de realizar la grabación.

Lo ideal es elegir condiciones de contorno parecidas a las seleccionadas en otros estudios similares, esto permite que en un futuro las características psicoacústicas de diferentes ciudades puedan ser comparadas con el fin de analizar su comportamiento, examinar similitudes y diferencias entre ellas e intentar buscar mejoras para aquellas con peores características psicoacústicas.

- ❖ Paso 4: Cuando se tienen todas las grabaciones realizadas se procede al cálculo de los parámetros psicoacústicos. Estos han de realizarse con algún programa de cálculo como MATLAB o cualquier otro que lo permita; o con programas específicos para el cálculo de parámetros acústicos y psicoacústicos.

El cálculo del loudness no supone ningún problema ya que como su procedimiento de cálculo está normalizado los resultados son comparables con cualquier otro estudio. En el caso de sharpness, aunque no está normalizado, la mayoría de los autores exponen en mismo procedimiento para su cálculo por lo que tampoco supondrá ningún problema.

A la hora de calcular el valor del roughness y el fluctuation strength, es necesario, si se quiere realizar una posterior comparación con otros estudios, elegir la misma manera de cálculo que la llevaba a cabo en el estudio con el que se quiere comparar.

Se debe calcular el percentil 5, 50 y 95 de cada uno de los parámetros psicoacústicos calculados, ya que estos son los más representativos de lo ocurrido en el punto de medición. Además, se deben presentar los resultados en una tabla diferenciado entre el canal izquierdo y derecho de cada uno de los parámetros calculados.

12. Resultados y análisis de resultados.

Lo que se va a realizar en este apartado es lo siguiente:

- Análisis de las características de la categorización en base a parámetros de tráfico y arquitectónicos.
- Estudio de las diferentes categorizaciones realizadas en base a parámetros psicoacústicos para analizar cuál de ellas es la mejor.
- Análisis de la categorización en base a parámetros psicoacústicos.
- Análisis de la categorización en función del nivel de presión sonora.
- Búsqueda de correlaciones entre las diferentes categorizaciones realizadas.

12.1. Características de la categorización en función de parámetros de tráfico y arquitectónicos.

Los resultados presentados a continuación se han extraído del informe “Clasificación y análisis de paisajes sonoros de las calles de Valladolid” [18] mencionado anteriormente.

Atendiendo únicamente a parámetros de tráfico los tres clúster que se obtienen se caracterizan por ser de tráfico elevado, tráfico medio y tráfico bajo. En esta clasificación sólo se tiene en cuenta el número de coches que ha pasado por cada una de las vías durante el período de grabación, las características de dicha clasificación se pueden observar en la tabla 20.

Tabla 20. Características de la categorización en base a parámetros de tráfico.

CLÚSTER	Nº CALLES	Nº DE COCHES
T1	5	[358-554]
T2	21	[137-298]
T3	16	[14-110]

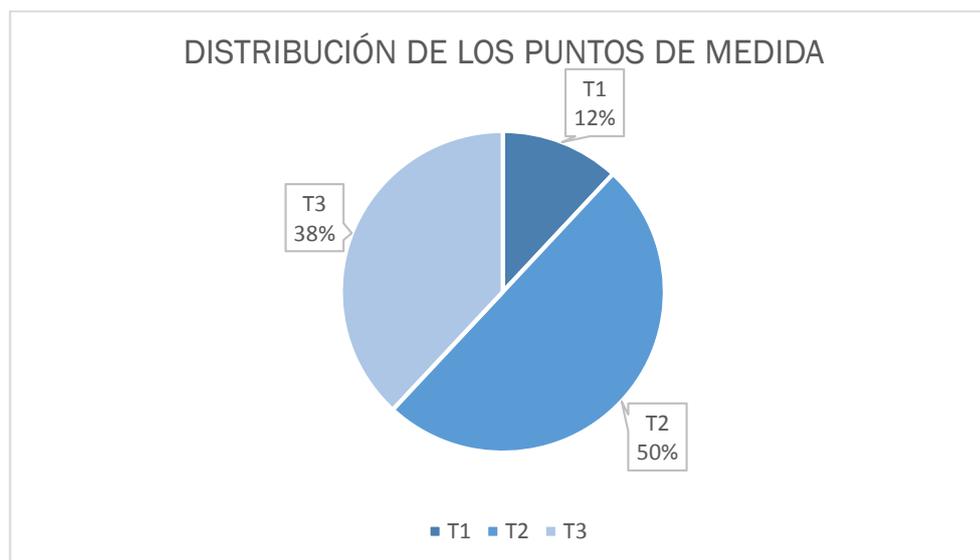


Figura 22. Distribución de los puntos de medida en base a parámetros de tráfico.

Como se aprecia en la figura 22, el clúster 2 es el mayoritario, el cual se caracteriza por un tráfico medio comprendido en el rango [137-298] coches. Al no disponer de un gran número de medidas el intervalo del número de vehículos que caracteriza cada uno de los clústers es bastante amplio.

En cuanto a la segunda categorización, se realiza atendiendo a parámetros arquitectónicos además de los datos de tráfico expuestos anteriormente.

Las características de cada clúster se muestran en la tabla 21 y los porcentajes de cada uno de ellos en la figura 23.

Tabla 21. Características de la categorización en base a parámetros de tráfico y arquitectónicos.

CLÚSTER	Nº CALLES	Nº DE COCHES	ALTURA MEDIA	ANCHURA DE LA CALLE	ANCHURA DEL VIARIO
ARQ-TRAF 1	6	[147-437]	[14,5-35,5]	[23-28]	[13-23]
ARQ-TRAF 2	7	[150-268]	[12-24,5]	[16-20]	[5-10]
ARQ-TRAF 3	10	[24-107]	[13-22,5]	[8-25]	[5-19]

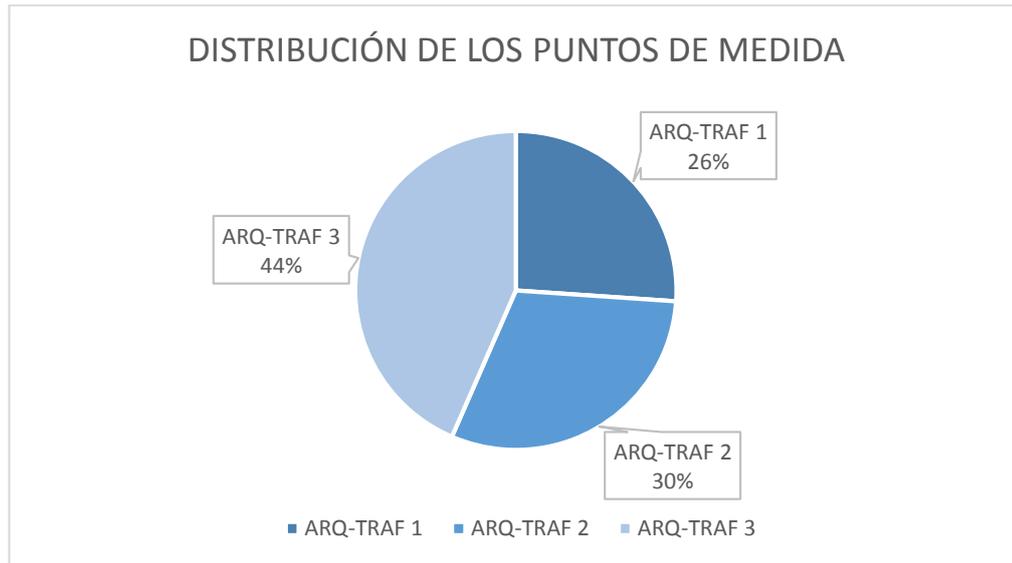


Figura 23. Distribución de los puntos de medida en base a parámetros de tráfico y arquitectónicos.

En este caso el número de puntos de medida considerados se reduce a 23, debido a que se tienen en cuenta sólo las vías con edificios a ambos lados de la calzada. En este caso la distribución de los registros en tres clúster está más igualada.

Para analizar la influencia de cada uno de los parámetros en la realización de la categorización se recurre a la representación de cada clúster en un gráfico radial en el cual se muestra en la figura 24.



Figura 24. Análisis radial de la categorización en base a parámetros de tráfico y arquitectónicos.

El clúster 1 presenta valores similares de la anchura de la calle, en cuanto al resto de parámetros no se observa ninguna tendencia.

En el gráfico perteneciente al clúster 2 se observa una tendencia a valores altos de la anchura de la calle, todos los registros presentan valores similares excepto uno de ellos que tiene una anchura de calle claramente inferior. En los parámetros anchura del viario y nº de coches, los registros presentan valores más aproximados entre ellos que en el clúster 1, pero no se observa una tendencia clara, en el caso del parámetro altura media los valores que presentan los registros pertenecientes a dicho clúster son muy dispares.

El clúster 3 se caracteriza por tener valores similares en el nº de coches y en la altura media. El resto de parámetros presentan valores muy dispares no observándose ninguna relación en ellos.

12.2. Análisis de las diferentes categorizaciones en base a parámetros psicoacústicos.

Para poder analizar cuál es la mejor categorización de la ciudad de Valladolid atendiendo a parámetros psicoacústicos se realiza una categorización en 3, 4, 5, y 6 clústers. A continuación se va a analizar cuál de ella presenta mejores resultados.

Agrupación en 3 clústers

Los resultados se muestran en la tabla 22.

Tabla 22. Resultados de la agrupación en 3 clústers.

FID	3 CLÚSTERS	silhouette 3	FID	3 CLÚSTERS	silhouette 3	FID	3 CLÚSTERS	silhouette 3
1145	1	-0,231	1475	2	0,698	637	2	0,673
521	1	0,218	822	2	0,481	282	2	0,597
283	1	-0,224	1080	2	0,666	370	2	0,708
71	1	-0,303	88	2	0,751	950	3	0,529
293	1	0,439	1107	2	0,753	942	3	0,724
69	1	0,675	1051	2	0,158	965	3	0,767
68	1	0,507	1063	2	0,422	1142	3	0,416
66	1	0,150	983	2	0,746	1092	3	0,727
73	1	0,386	520	2	0,464	1058	3	0,312
922	2	0,278	1295	2	0,756	1007	3	0,350
953	2	0,369	523	2	0,730	986	3	0,591
984	2	0,557	823	2	0,412	982	3	0,058
861	2	0,324	798	2	0,650	422	3	0,769
1010	2	0,695	1654	2	0,732	425	3	0,440

La variable *silhouette* muestra un valor comprendido en el intervalo [-1,1], valores negativos indican que la muestra no está bien agrupada en dicho clúster, y valores positivos y cercanos a 1 suponen que dicho registro está bien agrupado en el clúster seleccionado.

El hecho de que haya muestras con valores de *silhouette* negativos es debido a que las muestras no se identifican con ninguno de los tres grupos seleccionados y el programa los introduce en uno de ellos.

En esta agrupación hay tres muestras que no están correctamente agrupadas, son los registros 1145, 283 y 71. En la siguiente gráfica se aprecia mejor como queda la distribución de los registros en los clúster.

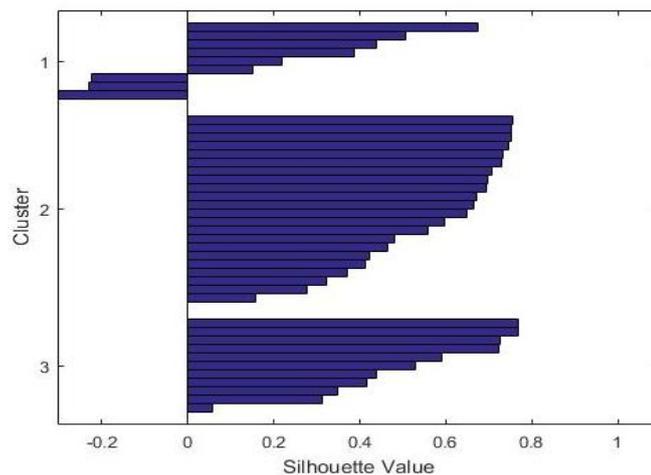


Figura 25. Representación de la agrupación en 3 clústers.

Aunque hay tres registros que no están debidamente agrupados, hay 22 muestras que superan el 0,5, es decir, presentan características que se adecuan bastante a las características del clúster. Las características del clúster están definidas por las características de los registros que pertenecen a dicho clúster, en el caso de agruparse registros similares, las características de cada muestra se adecuarán en mayor medida a las del clúster.

Muchos registros se encuentran en torno al 0,8. No hay ningún valor que sea 1, lo cual era de esperar ya que si es 1 significa que las características de dicho clúster sólo las define esa muestra, o en su defecto, que las muestras pertenecientes a ese clúster son idénticas en todos los parámetros tenidos en cuenta, lo cual no ha ocurrido en este estudio.

En la figura 25 se puede observar como el clúster más numeroso es el clúster 2, con aproximadamente la mitad de las muestras tomadas, y la mayoría de los registros que lo forman poseen características similares con un coeficiente de adecuación al clúster cercano a 0,8 en más de la mitad de las muestras del

clúster. Y el menos numeroso es el clúster 1, además de ser el que presenta las muestras con características más dispares.

Por consiguiente, la agrupación en 3 clúster se puede considerar aceptable.

Agrupación en 4 clústers

El clúster dividido en 4 agrupaciones ofrece los resultados presentados en la tabla 23.

Tabla 23. Resultados de la agrupación en 4 clústers.

FID	4 CLÚSTERS	silhouette 4	FID	4 CLÚSTERS	silhouette 4	FID	4 CLÚSTERS	silhouette 4
922	1	0,055	1295	1	0,766	422	2	0,802
953	1	0,485	523	1	0,737	293	3	0,525
984	1	0,550	823	1	0,358	69	3	0,305
861	1	0,346	798	1	0,626	73	3	0,660
1010	1	0,713	1654	1	0,736	950	4	0,280
1475	1	0,693	637	1	0,683	1145	4	0,066
822	1	0,543	282	1	0,627	521	4	0,208
1080	1	0,649	71	1	0,190	1058	4	0,147
88	1	0,744	370	1	0,705	986	4	0,216
1107	1	0,720	942	2	0,725	982	4	0,084
1051	1	0,323	965	2	0,799	425	4	0,452
1063	1	0,281	1142	2	0,609	283	4	0,637
983	1	0,740	1092	2	0,781	68	4	0,256
520	1	0,469	1007	2	0,468	66	4	0,253

Esta categorización no presenta ningún registro con un valor de la variable *silhouette* negativo, es decir, todas las muestras están bien agrupadas en el clúster seleccionado.

Gráficamente los resultados obtenidos se muestran en la figura 26.

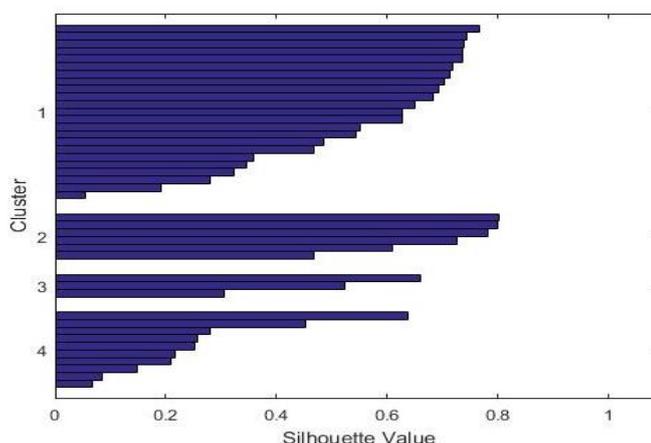


Figura 26. Representación de la agrupación en 4 clústers.

En este caso, el clúster 1 es el más numeroso con un total de 23 registros, algo más de la mitad de las muestras tomadas, y la mayoría de ellas con un coeficiente alto de adecuación al clúster. En el caso anterior, también hay un clúster que agrupa aproximadamente la mitad de las muestras por lo que se llega a la conclusión de que más o menos la mitad de los registros tienen características psicoacústicas similares y, por tanto, se agrupan en el mismo clúster independientemente del número de grupos que se hagan.

En cuanto al resto de registros, al seleccionar un mayor número de grupos se ha podido realizar una división en la que todas las grabaciones ubicadas en el mismo clúster tengan por lo menos alguna característica en común, a diferencia del caso con 3 clústers. El clúster que agrupa registros con características más dispares es el clúster 4.

Agrupación en 5 clústers

En cuanto a este tipo de agrupación los resultados obtenidos se presentan en la tabla 24.

Tabla 24. Resultados de la agrupación en 5 clústers.

FID	5 CLÚSTERS	silhouette 5	FID	5 CLÚSTERS	silhouette 5	FID	5 CLÚSTERS	silhouette 5
922	1	0,055	1295	1	0,700	942	4	0,682
953	1	0,336	523	1	0,724	965	4	0,757
984	1	0,550	823	1	0,064	1142	4	0,609
861	1	0,346	798	1	0,528	1092	4	0,741
1010	1	0,610	1654	1	0,697	1007	4	0,462
1475	1	0,666	637	1	0,653	422	4	0,768
822	1	0,417	282	1	0,566	950	5	0,498
1080	1	0,649	71	1	0,009	1145	5	0,386
88	1	0,689	370	1	0,650	1058	5	0,496
1107	1	0,643	293	2	0,481	986	5	0,597
1051	1	0,143	69	2	0,210	982	5	0,495
1063	1	-0,109	73	2	0,648	425	5	0,672
983	1	0,646	521	3	-0,169	283	5	0,778
520	1	0,469	66	3	0,150	68	5	0,388

En este caso hay dos registros mal agrupados, los registros cuyo número de identificación son 1063, perteneciente al clúster 1, y el 521, agrupado en el clúster 3. Estos registros presentan valores de la variable *silhouette* negativos aunque del orden de -0,1. Al variar el número de grupo las características de estos han variado y por eso hay dos registros que no se identifican en ninguno de ellos.

Los resultados obtenidos seleccionando 5 clústers se representan en la figura 27.

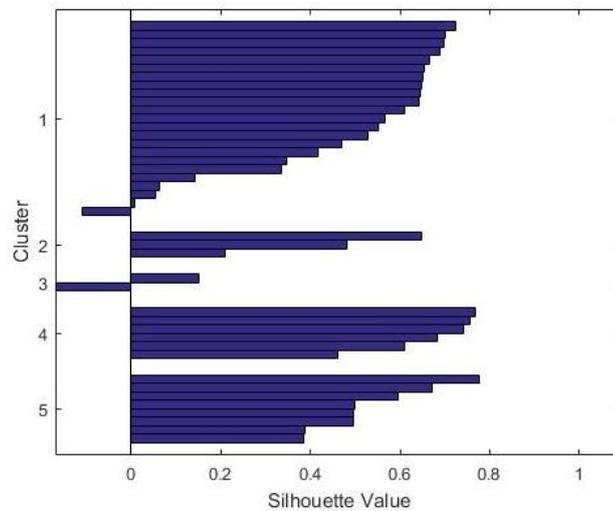


Figura 27. Representación de la agrupación en 5 clústers.

La distribución de registros se empieza a estabilizar. Al igual que ocurre en los casos anteriores, hay un clúster que agrupa aproximadamente la mitad de los registros, el clúster 1 en este caso, el cual agrupa exactamente las mismas muestras que en el caso anterior cuando se establece la división en 4 clúster. Es decir, se hace evidente que hay una relación en las características psicoacústicas de esas calles donde se realizaron las grabaciones correspondientes a esos registros.

En el clúster 2 ocurre lo mismo, los 3 registros que reúne también se agrupan conjuntamente en el caso anterior.

El clúster 4 también es una muestra de que hay una fuerte relación entre los registros que reúne ya que en el caso anterior se forma el mismo grupo.

En cuanto al clúster 3, agrupa dos muestras dispares que no identifican en ningún otro grupo, los dos registros del clúster 3 son el 521 y el 66. Estos en el caso anterior se agrupan en el clúster 4 con un coeficiente de adecuación al clúster bajo. En este caso, al aumentar el número de grupos lo que ha ocurrido ha sido que se ha mantenido el clúster 4 del caso anterior, aunque ahora se denomina clúster 5, con las mismas muestras excepto la 521 y la 66, que estaban mal agrupadas y se han asignado a otro clúster, y al quitarlas, el resto de muestras que se han mantenido en el clúster han mejorado su coeficiente de adecuación al clúster, es decir, la variable *silhouette* de los diferentes registros ha aumentado.

En definitiva, en este punto ya se hace evidente cuales son los registros que presentan características psicoacústicas similares. Se tienen 4 grupos

definidos y dos registros que no se identifican en ninguno de ellos y, por tanto, estos dos registros se han introducido en un mismo clúster aunque tienen características psicoacústicas dispares entre ellos.

Agrupación en 6 clústers

La última categorización se realiza con 6 grupos. Con 42 registros no tiene sentido realizar más divisiones porque lo que se busca es una relación entre las diferentes muestras en términos psicoacústicos.

Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 25.

Tabla 25. Resultados de la agrupación en 6 clústers.

FID	6 CLÚSTERS	silhouette 6	FID	6 CLÚSTERS	silhouette 6	FID	6 CLÚSTERS	silhouette 6
1475	1	0,502	986	3	0,296	983	4	0,034
1080	1	0,744	422	3	0,668	982	4	0,399
88	1	0,483	425	3	0,307	1295	4	0,176
1107	1	0,506	922	4	0,490	523	4	0,261
520	1	0,570	953	4	0,656	823	4	0,532
798	1	0,273	984	4	0,574	282	4	0,432
1654	1	0,581	861	4	0,710	1145	5	0,092
637	1	0,553	1010	4	0,452	521	5	0,384
370	1	0,617	1142	4	0,200	283	5	0,090
73	2	1,000	822	4	0,586	71	5	0,130
950	3	0,499	1051	4	0,631	293	5	0,160
942	3	0,625	1058	4	0,307	69	5	0,357
965	3	0,619	1063	4	0,410	68	5	0,606
1092	3	0,636	1007	4	0,361	66	6	1,000

No hay ningún registro con la variable *silhouette* negativa, por lo tanto, todos los registros pertenecientes al mismo clúster tienen alguna característica psicoacústica en común.

La característica de esta distribución es que hay dos registros con un valor de la variable *silhouette* de 1, esto es porque ese clúster está formado por una única muestra, y es la que define sus características, por tanto el coeficiente de adecuación al clúster es del 100%. Esto ocurre en el clúster 2 y en el clúster 6. El clúster 6 está formado por el registro 66, el cual en el caso anterior no se identifica con ningún otro registro.

A continuación se muestran los resultados en la figura 28.

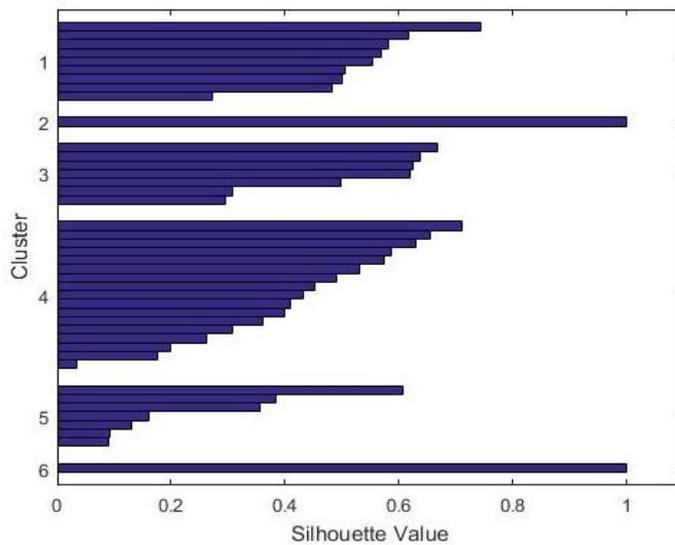


Figura 28. Representación de la agrupación en 6 clústers.

Como en el caso anterior hay un grupo con un número de registros muy superior al resto, en este caso el clúster 4. Al aumentar el número de grupos el número de registros que tiene ahora es algo menos de la mitad de total de muestras tomadas.

En esta división, la distribución de los registros ha variado algo con respecto a los dos últimos casos, que prácticamente eran idénticos. Aunque muchos de ellos sí que se han mantenido agrupados con los mismos registros con que estaban anteriormente.

Para analizar cuál es la mejor distribución se realiza el promedio de la variable *silhouette* de cada una de las categorizaciones con el objetivo de tener un valor para poder comparar para la extracción de conclusiones, aunque no es el único parámetro que se ha de tener en cuenta.

Los resultados se muestran en la tabla 26.

Tabla 26. Resultados de la variable *silhouette* de las diferentes categorizaciones.

	Promedio <i>Silhouette</i>
CLÚSTER 3	0,474
CLÚSTER 4	0,500
CLÚSTER 5	0,485
CLÚSTER 6	0,465

El mayor coeficiente es el correspondiente al clúster 4, es decir, la categorización en la que se establece una división en cuatro grupos. Además, si se tiene en cuenta que a partir de esta división la distribución de las muestras

en los diferentes grupos se ha mantenido más o menos constante y que se tienen tan solo 42 registros, por lo que el número de clúster no ha de ser muy grande, se considera que esta es la mejor distribución para realizar una categorización atendiendo a parámetros psicoacústicos.

Como las categorizaciones de las que se parte están divididas en 3 clústers se va a trabajar con la categorización en función de parámetros psicoacústicos realizada con 3 clústers para facilitar las comparaciones de estas. Aunque se haya expuesto que esta no es la categorización óptima las diferencias con la agrupación en 4 clústers no son muy significativas, el promedio de la variable *silhouette* pasa de 0,500 a 0,474.

12.3. Características de la categorización en función de parámetros psicoacústicos.

En este apartado se van a analizar las características de la categorización en 3 clústers, debido a que esta es la que se va a comparar con las categorizaciones de partida.

Agrupación en 3 clústers

Para el análisis de los parámetros psicoacústicos se va a tener en cuenta el percentil 95, debido a que este indica el valor por encima del cual ha estado el parámetro el 95% del tiempo y por lo tanto es el más representativo de lo que ha ocurrido en dicha calle en el período considerado.

La denominación que se ha dado a la clasificación y las características de cada clúster se presentan en la tabla 27.

Tabla 27. Características de la categorización en base a parámetros psicoacústicos.

CLÚSTER	Nº CALLES	L95 (sone)	S95 (acum)
PSICO 1	11	[18,92-33,60]	[1,60-1,89]
PSICO 2	9	[24,27-40,68]	[1,26-1,73]
PSICO 3	22	[32,02-49,27]	[1,52-1,81]

El clúster 1 tiene el intervalo de valores del loudness más bajo, es el clúster donde se encuentran los sonidos con un volumen más débil que provocan una sensación sonora más agradable. En el sharpness se registran valores medios aunque ligeramente más altos que los del clúster 2, por lo que se percibe una calidad sonora positiva. En términos psicoacústicos el clúster 3 es el más agradable y el que menos molestia genera.

En cuanto al clúster 2 presenta niveles medios del loudness y bajos del sharpness. Valores bajos de sharpness indican una peor calidad acústica, ya que dicho parámetro está relacionado con la nitidez del sonido. Los paisajes sonoros pertenecientes a este clúster se caracterizan por tener una alta presencia de sonidos desagradables. Si bien el loudness se encuentra en torno a valores medios, por lo tanto no se caracteriza por tener sonidos ni muy fuertes ni débiles, sino que tienen un volumen medio que produce una sensación sonora variada.

El clúster 3 es el más numeroso, reúne la mitad de los registros y se caracteriza por tener valores altos del loudness, es decir, sonidos fuertes con un volumen alto de ruido donde la sensación sonora es molesta. El sharpness toma valores medios, por lo que los registros pertenecientes a este clúster se perciben con una calidad sonora más positiva que los del clúster 1, esto se debe a que los sonidos se perciben con mayor nitidez y por tanto no se hacen tan desagradables.

En la figura 29 se puede ver cómo queda la distribución de los parámetros psicoacústicos en los diferentes clústers.

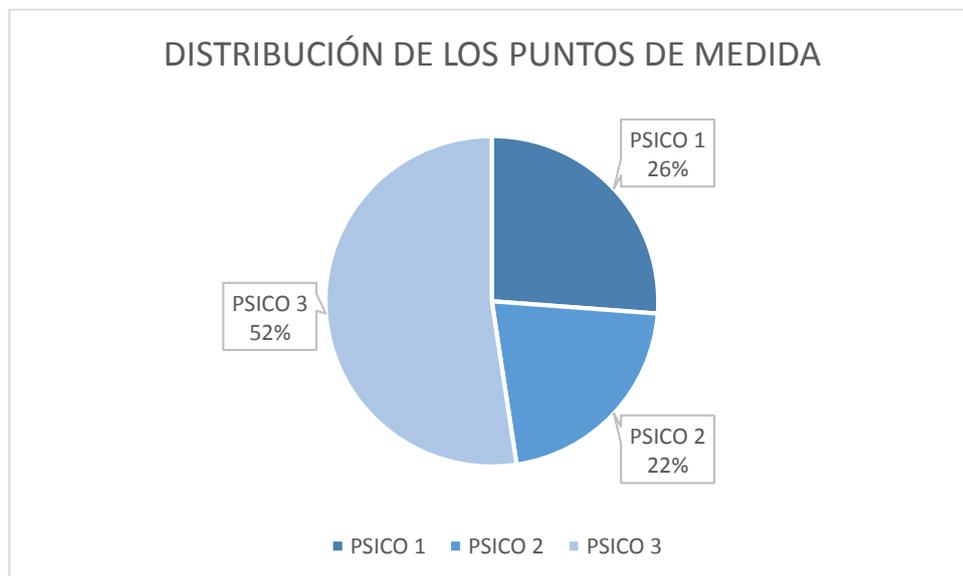


Figura 29. Distribución de los puntos de medida en base a parámetros psicoacústicos.

Para analizar la influencia de los diferentes percentiles calculados de los parámetros psicoacústicos se ha recurrido a los gráficos radiales.

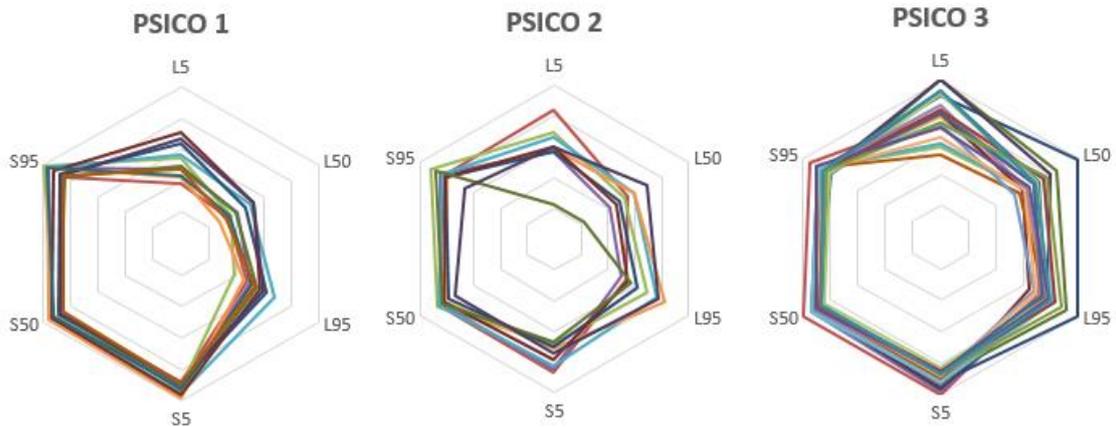


Figura 30. Análisis radial de la categorización en base a parámetros psicoacústicos.

La primera conclusión que se extrae de los gráficos es que en los tres clústers los valores de los percentiles del sharpness de los diferentes registros pertenecientes al mismo clúster son muy similares. En cuanto al loudness la tendencia es mayor en el percentil 95, en el que todas las muestras pertenecientes al mismo clúster presentan valores similares, para el percentil 50 difieren algo más dentro del mismo clúster y hay todavía mayor diferencia en el caso del percentil 5 de dicho parámetro.

12.4. Categorización en función del nivel de presión sonora (SPL).

En este apartado se realiza una categorización en base al nivel de presión sonora la cual se realiza siguiendo los pasos descritos en el apartado “Cálculo de resultados”. Dicha categorización se realiza con el fin de poder analizar posteriormente la relación entre el nivel de presión sonora y los parámetros psicoacústicos.

Las características de la categorización en base a parámetros acústicos se muestran en la tabla 28.

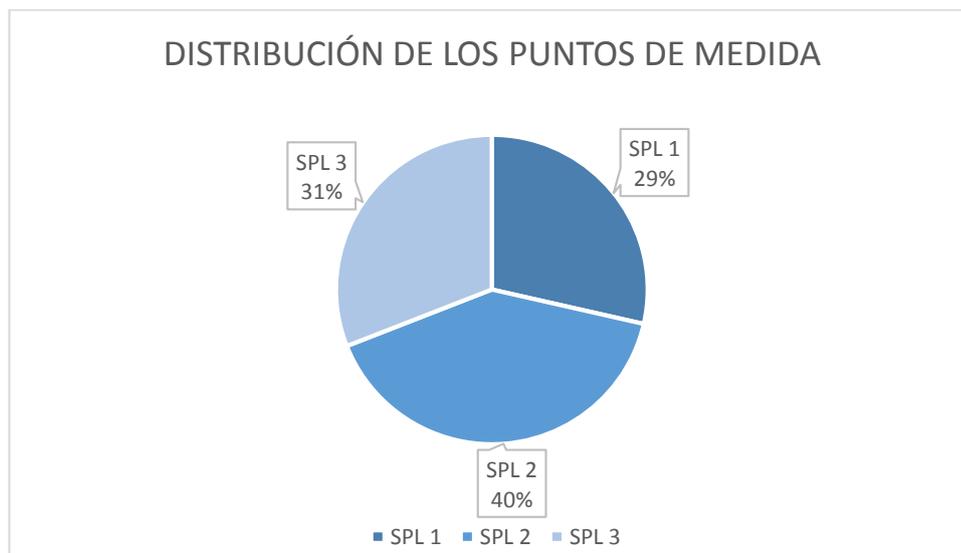
Tabla 28. Características de la categorización en función del SPL.

CLÚSTER	Nº CALLES	NIVEL DE PRESIÓN SONORA (dB)
SPL 1	12	[91,78 - 96,64]
SPL 2	17	[87,60-91,31]
SPL 3	13	[81,00-86,24]

Como se puede observar el clúster SPL 1 recoge los registros con valores del nivel de presión sonora más altos, comprendidos entre 91,78 y 96,64 dB. En el clúster 2 se encuentran los valores con sonidos caracterizados por valores de presión sonora medios [87,60-91,31] dB y en el clúster 3 es donde se encuentran los valores más bajos, los cuales se encuentran en el intervalo [81,00-86,24] dB. Teniendo en cuenta que todos los valores calculados se encuentran por encima de 81 dB.

En la figura 31 se muestra la distribución de los puntos de medida en función de la categorización realizada en base al nivel de presión sonora.

Figura 31. Distribución de los puntos de medida en base al nivel de presión sonora.



Aunque los tres clústers agrupan un número similar de muestras, el clúster 2 es algo mayoritario.

12.5. Análisis de la relación entre las diferentes clusterizaciones.

Uno de los objetivos del presente trabajo es comparar las categorizaciones realizadas en función de diferentes parámetros con el fin de buscar relaciones entre las sensaciones sonoras percibidas y el nivel de presión sonora, las características de la vía, del tráfico existente en dicha vía o de las características arquitectónicas.

En primer lugar, se va a analizar la relación entre el nivel de presión sonora y los parámetros psicoacústicos calculados. En segundo lugar se va a estudiar la relación entre las características viarias con las características psicoacústicas. Posteriormente, se va a estudiar la relación entre los parámetros de tráfico y

los parámetros psicoacústicos. Y, por último, se va a analizar la influencia de los parámetros arquitectónicos y de tráfico en los parámetros psicoacústicos, en esta comparación se van a seleccionar sólo los registros que presenten edificios a ambos lado de la calzada, ya que la categorización en función de parámetros arquitectónicos está realizada solo con estos registros.

12.5.1. Comparación de la categorización del nivel de presión sonora con la categorización de parámetros psicoacústicos.

En este apartado se va a comparar la categorización de los registros en base a parámetros acústicos, es decir, al nivel de presión sonora, con la categorización en base a parámetros psicoacústicos con fin de buscar correlaciones entre ellas. Aunque a priori parece que dichos parámetros han de estar relacionados se va a comprobar si dicha correlación existe.

Los resultados de la clasificación en base al nivel de presión sonora y a los parámetros psicoacústicos se muestran en la tabla 29.

Tabla 29. Categorización en función de parámetros acústicos y psicoacústicos.

FID	ACÚSTICO	PSICOACÚSTICO	FID	ACÚSTICO	PSICOACÚSTICO
953	1	3	822	2	3
1107	1	3	521	2	2
983	1	3	520	2	3
1475	1	3	1295	2	3
1080	1	3	1654	2	3
88	1	3	283	2	2
523	1	3	293	2	2
798	1	3	69	2	2
637	1	3	950	3	1
71	1	2	942	3	1
73	1	2	965	3	1
370	1	3	1092	3	1
922	2	3	1007	3	1
984	2	3	986	3	1
1051	2	3	1145	3	2
1058	2	1	422	3	1
1063	2	3	425	3	1
982	2	1	823	3	3
861	2	3	282	3	3
1010	2	3	68	3	2
1142	2	1	66	3	2

En la figura 32 se muestran los resultados de la valoración.

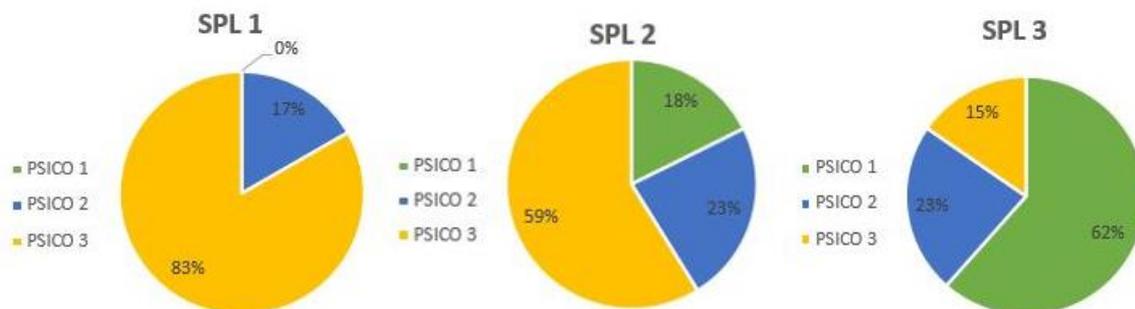


Figura 32. Distribución de los puntos de medida en función del nivel de presión sonora y de los parámetros psicoacústicos.

Al realizar la comparación entre ambas categorizaciones se observa que existe una correlación entre los valores del nivel de presión sonora y los valores del loudness.

En el clúster SPL 1 se encuentran los registros con los valores más altos del nivel de presión sonora y estos registros se clasifican en el clúster psicoacústico 3 (83%) caracterizado por niveles altos del loudness, y en el clúster psicoacústico 2 (17%) con niveles medios del loudness.

El clúster SPL 2 se caracteriza por valores medios del nivel de presión sonora y aquí se encuentran registros pertenecientes a los 3 clústers psicoacústicos aunque predominan los registros pertenecientes al clúster 3 (59%) con valores altos del loudness.

En el clúster SPL 3 se agrupan los registros con los valores de nivel de presión sonora más bajos y en este clúster predominan los registros pertenecientes al clúster psicoacústico 1 que se caracteriza por valores bajos del loudness y altos del sharpness. Es decir, sonidos que producen un ambiente sonoro agradable. En este clúster acústico también se encuentran registros pertenecientes al clúster psicoacústico 3 (15%) y al clúster 2 (23%) aunque en menor proporción.

En base a las muestras tomadas y a los valores acústicos y psicoacústicos calculados en este estudio se puede afirmar que existe una relación entre el nivel de presión sonora y el nivel del loudness. A mayor nivel de presión sonora se obtienen valores más altos del loudness, como era de esperar.

15.2.2. Comparación de la categorización de parámetros viarios con la categorización de parámetros psicoacústicos.

La clasificación de los registros en los diferentes clústers se presenta en la tabla 30.

Tabla 30. Categorización en función de parámetros viarios y psicoacústicos.

FID	VIARIO	PSICOACÚSTICO	FID	VIARIO	PSICOACÚSTICO
1107	1	3	422	1	1
370	1	3	425	1	1
69	1	2	283	2	2
953	1	3	293	2	2
861	1	3	984	2	3
822	1	3	1010	2	3
1080	1	3	1475	2	3
1051	1	3	1295	2	3
983	1	3	523	2	3
823	1	3	1654	2	3
798	1	3	521	2	2
637	1	3	68	2	2
1007	1	1	950	2	1
982	1	1	942	2	1
1145	1	2	965	2	1
922	1	3	986	2	1
1063	1	3	71	3	2
282	1	3	88	3	3
1142	1	1	520	3	3
1092	1	1	73	3	2
1058	1	1	66	3	2

En la figura 33 se muestra gráficamente la distribución de los clústers psicoacústicos en los clústers viarios para facilitar el análisis.

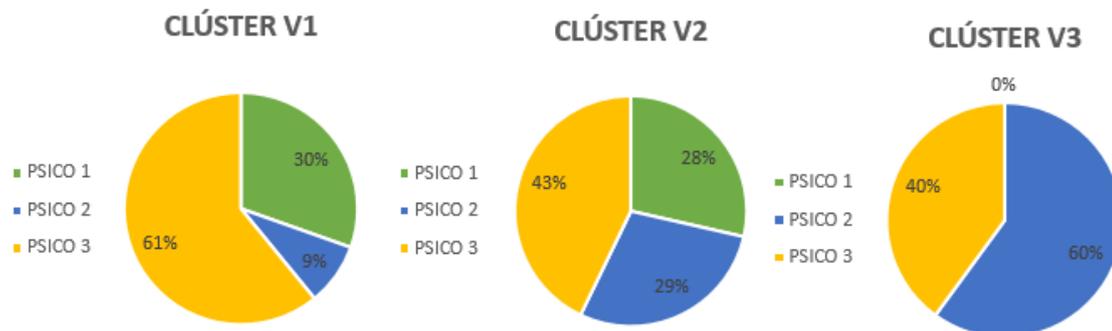


Figura 33. Distribución de los puntos de medida en función de los parámetros viarios y psicoacústicos.

Los resultados no son altamente esclarecedores, dentro de un mismo tipo de vía se encuentran registros con características psicoacústicas diferentes. Si bien existen algunas correlaciones.

En el clúster viario 1 se encuentran las vías locales segregadas, caracterizadas por tener tráfico de corto alcance, en ellas el clúster psicoacústico mayoritario es el caracterizado por valores altos del loudness, es decir, alto volumen de ruido. Aunque también está presente, en un 30%, registros caracterizados por un loudness bajo. Esto puede deberse a que dentro de las vías locales segregadas se encuentra un gran número de vías con características diferentes en cuanto a volumen de tráfico se refiere.

En el clúster viario 2 no se observa ninguna tendencia, aparecen los tres clústers psicoacústicos aunque el clúster psicoacústico 3 es algo mayoritario que los demás. Al igual que en el caso de las vías locales segregadas, esto puede deberse al hecho de que dentro de esta clasificación se encuentran vías con características diversas en cuanto al volumen de tráfico y de ruido.

El clúster viario 3 se refiere a las vías principales, que son prolongaciones urbanas de los diferentes accesos a la ciudad. Son vías grandes preparadas para un alto volumen de tráfico por lo que en él se encuentran registros pertenecientes a los clústers psicoacústicos caracterizados por un alto nivel del loudness, el clúster psicoacústico 3 que se encuentra en un 40%, y valores medios del loudness, un 60% está formado por registros pertenecientes al clúster psicoacústico tipo 2. En este tipo de vías no se encuentra ningún registro perteneciente al clúster psicoacústico 1 que se caracteriza por valores bajos del loudness y altos del sharpness, es decir, bajo volumen de ruido y una sensación sonora positiva.

15.2.3. Comparación de la categorización de parámetros de tráfico con la categorización de parámetros psicoacústicos.

Los resultados de la categorización en función del número de coches que circulan por una vía durante el tiempo de grabación y de los parámetros psicoacústicos obtenidos se presentan en la tabla 31.

Tabla 31. Categorización en función de parámetros de tráfico y psicoacústicos.

FID	TRÁFICO	PSICOACÚSTICO	FID	TRÁFICO	PSICOACÚSTICO
1107	1	3	1475	2	3
370	1	3	1295	2	3
71	1	2	523	2	3
88	1	3	1654	2	3
520	1	3	73	2	2
69	2	2	1145	3	2
953	2	3	922	3	3
861	2	3	1063	3	3
822	2	3	282	3	3
1080	2	3	1142	3	1
1051	2	3	1092	3	1
983	2	3	1058	3	1
823	2	3	422	3	1
798	2	3	425	3	1
637	2	3	521	3	2
1007	2	1	68	3	2
982	2	1	950	3	1
283	2	2	942	3	1
293	2	2	965	3	1
984	2	3	986	3	1
1010	2	3	66	3	2

A continuación se muestran los resultados gráficamente al igual que en el caso anterior.

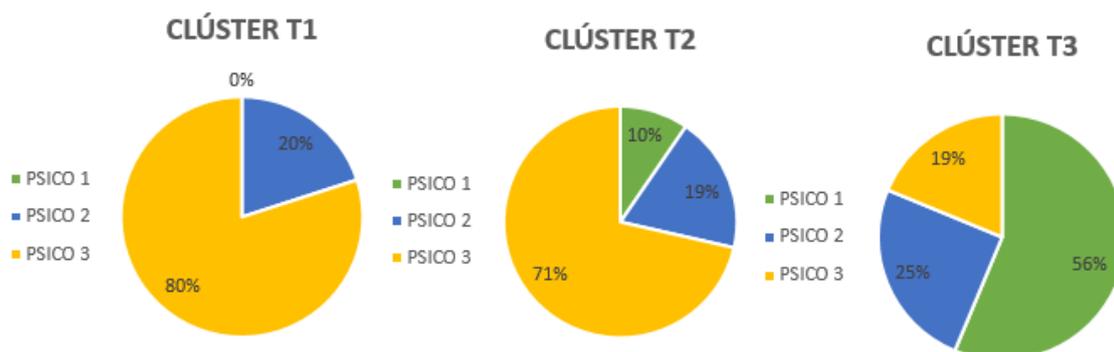


Figura 34. Distribución de los puntos de medida en función de los parámetros de tráfico y psicoacústicos.

En este caso tampoco se observa una tendencia clara pero sí que se pueden extraer algunas conclusiones.

El clúster de tráfico 1 se caracteriza por un volumen alto de tráfico (intervalo de 358 a 554 coches) y en él predominan los registros pertenecientes al clúster psicoacústico 3 (80%), en este clúster psicoacústico se encuentran las muestras con un loudness más alto. El otro 20% de los registros pertenecen al clúster psicoacústico 2 en el que los valores del loudness son medios y en el que el sharpness alcanza los valores más bajos, es decir, los ruidos generan sensaciones más desagradables. Por lo que queda de manifiesto que a mayor volumen de tráfico la calidad acústica percibida es más negativa, abundan los niveles altos del loudness y bajos del sharpness.

El clúster de tráfico 2 está formado por los registros que presentan un volumen medio de tráfico con un número de coches comprendido entre 137 y 298. En este clúster también predominan las grabaciones pertenecientes al clúster psicoacústico 3, caracterizados por un alto nivel del loudness. En menor porcentaje (19%) aparecen registros pertenecientes al clúster psicoacústico 2, con volumen medios del loudness. También se encuentran registros pertenecientes al clúster psicoacústico 1, en un 10%. Estos últimos son los que presentan unos niveles del loudness más bajos y niveles más alto del sharpness por lo que indican una calidad sonora positiva. Como en este tipo de clúster de tráfico sigue predominando un volumen de tráfico considerable, los registros más mayoritarios son los que presentan un loudness alto, lo cual respalda la conclusión de que el volumen de tráfico condiciona de alguna manera los valores de los parámetros psicoacústicos.

En el clúster de tráfico 3 se encuentra el volumen de tráfico más bajo, en dicho clúster el número de coches medido durante el período de grabación oscila entre 14 y 110. Algo más de los registros por los que está formado (56%)

pertenecen al clúster psicoacústico 1, en el que predominan los niveles bajos del loudness y alto del sharpness generando una sensación acústica positiva. En menor medida también aparecen registros pertenecientes al clúster psicoacústico 3 (19%) y 2 (25%). La distribución en este clúster reafirma la existencia de una relación entre el volumen de tráfico y las sensaciones sonoras percibidas. Un mayor volumen de tráfico genera una sensación sonora más molesta, y en ambientes en los que el tráfico es menor la sensación sonora es, por lo general, más agradable, calificando estos escenarios con una calidad sonora más positiva.

12.5.4. Comparación de la categorización de parámetros arquitectónicos y de tráfico con la categorización de parámetros psicoacústicos.

En este caso la categorización de parámetros arquitectónicos y de tráfico se ha realizado con 23 registros, por lo tanto, para poder realizar la comparación con la categorización de parámetros psicoacústicos se ha tenido que realizar otra categorización de estos parámetros solo con los 23 registros.

La categorización se ha realizado siguiendo los mismos pasos que se han descrito anteriormente y los resultados obtenidos se muestran en la tabla 32.

Tabla 32. Categorización en función de parámetros arquitectónicos-tráfico y psicoacústicos.

FID	ARQ-TRAF	PSICOACÚSTICO	FID	ARQ-TRAF	PSICOACÚSTICO
983	1	2	523	2	2
370	1	2	922	3	2
984	1	2	1142	3	1
283	1	3	1145	3	3
520	1	2	1092	3	1
71	1	3	1058	3	3
861	2	2	1063	3	3
822	2	2	422	3	1
1080	2	2	425	3	3
798	2	2	282	3	2
1010	2	2	942	3	1
1475	2	2			

Las características de la nueva categorización realizada en base a parámetros psicoacústicos se resumen en la tabla 33 y la distribución de los puntos de medida en base a dicha categorización se muestra en la figura 35.

Tabla 33. Características de la categorización en función de parámetros psicoacústicos con 23 puntos de medida.

CLÚSTER	Nº CALLES	L95 (sone)	S95 (acum)
PSICO 1 (23)	4	[18,92-33,60]	[1,84-1,89]
PSICO 2 (23)	6	[24,27-37,42]	[1,55-1,67]
PSICO 3 (23)	13	[32,02-49,27]	[1,54-1,81]

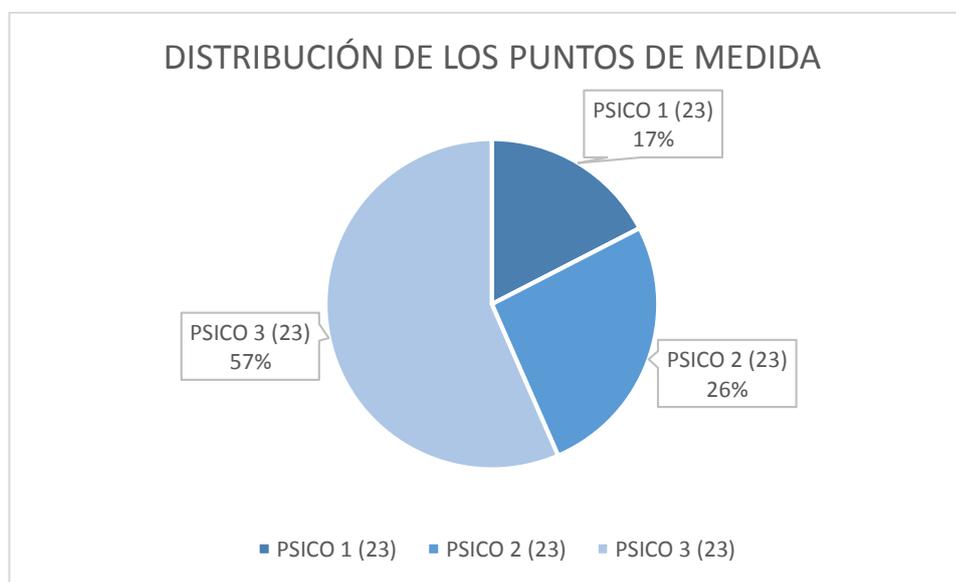


Figura 35. Distribución de los puntos de medida en base a parámetros psicoacústicos utilizando 23 puntos de medida.

El clúster más numeroso es el clúster 3, en él se encuentran los valores más altos del loudness y el sharpness varía en un rango amplio. En este clúster se encuentran los sonidos con mayor volumen de ruido.

En el clúster 1 y 2 los niveles del loudness varían en un rango similar, si bien el clúster 2 presenta valores ligeramente más altos. Aunque la diferencia entre estos dos clústers radica en los valores del sharpness. En el clúster 1 estos parámetros son muy superiores a los que se encuentran en el clúster 2, por lo que en el clúster 1 se advierte una mejor calidad sonora, con ambientes sonoros más agradables.

Otra de las características destacables al realizar este clúster es que todos los registros han quedado bien agrupado en el clúster en el que han sido asignados, ninguno de ellos tiene la variable *silhouette* negativa.

En cuanto a la comparación entre las dos categorizaciones se obtiene las siguientes correlaciones.



Figura 36. Distribución de los puntos de medida en función de los parámetros arquitectónicos y psicoacústicos.

En la realización del clúster arquitectónico y de tráfico se tuvieron en cuenta varios parámetros, los cuales son el número de coches, la altura media de los edificios, la anchura de la calle y la anchura del viario. Al realizar las comparaciones no se observa una correspondencia clara entre estos parámetros y los parámetros psicoacústicos.

En el clúster arquitectónico 1 se encuentran los valores más altos de los parámetros arquitectónicos, mayor altura de los edificios, mayor anchura de la calle y mayor anchura del viario, además también encontramos mayor número de coches, es decir, en este clúster se encuentran las calles grandes y amplias preparadas para acoger un gran volumen de tráfico. Las características psicoacústicas que se encuentran en estas calles son muy variadas, el 67% de los registros pertenecen al clúster psicoacústico 3 en el que el nivel del loudness varía entre 32,02 y 49,27 sonos y el sharpness entre 1,54 y 1,81 acum. El resto de registros pertenecen al clúster psicoacústico 2, con valores más bajos del loudness y del sharpness que los que caracterizan el clúster 3.

En el clúster arquitectónico 2 el 100% de los registros pertenecen al clúster psicoacústico 1. En estas calles se encuentra un volumen de tráfico medio, los edificios no presentan mucha altura y la relación entre la anchura de la calle y la anchura del viario es grande. El clúster psicoacústico 1 se caracteriza por tener los niveles del loudness más bajos y del sharpness más altos por lo que son los ambientes en los que la sensación sonora percibida es más agradable.

En el clúster arquitectónico 3 no se observa ninguna relación, ya que se encuentran en la misma proporción registros pertenecientes al clúster psicoacústico 1 y 2, y en menor proporción se encuentra el clúster psicoacústico 3, pero este no tiene las características psicoacústicas muy definidas ya que los rangos en los que se mueven los parámetros son amplios.

13. Estudio de repetitividad.

El objetivo del estudio de repetitividad llevado a cabo es poder analizar si las medidas tomadas son representativas, es decir, comprobar si realizando las grabaciones en los mismos puntos en días distintos y a diferentes horas se obtienen los mismos resultados psicoacústicos.

Para ello se seleccionan 5 puntos y se repiten las mediciones en esos puntos 3 días diferentes. Además, se pretende comprobar si hay diferencia, en términos psicoacústicos, entre diferentes períodos del año. Los datos con los que se ha realizado el estudio llevado a cabo hasta este punto se han tomado en abril, y las mediciones realizadas para este estudio de repetitividad han sido grabadas en octubre. Por lo demás, se mantienen las mismas condiciones de contorno definidas en el punto 8 de esta memoria, manteniendo el mismo horario de grabación, la misma duración establecida y la misma posición que toma la persona responsable de la grabación durante la misma.

Los puntos seleccionados para el análisis se presentan en la tabla 34.

Tabla 34. Puntos de grabación utilizados para el estudio de repetitividad.

FID	TIPOVIA	CODVIA	DESAYTO	TIPAYTO	ZONA	COORDENADAS
861	VIAS LOCALES SEGREGADAS	299	HUELGAS	CALLE	2	41°39'11.1"N 4°42'57.9"W
1475	VIAS COLECTORAS - ARTERIAS	345	LOPEZ GOMEZ	CALLE	2	41°38'58.9"N 4°43'26.9"W
1142	VIAS LOCALES PEATONALES O DE COEXISTENCIA	180	DUQUE DE LA VICTORIA	CALLE	2	41°39'02.4"N 4°43'36.1"W
822	VIAS LOCALES SEGREGADAS	259	GAMAZO	CALLE	2	41°38'49.3"N 4°43'33.8"W
983	VIAS LOCALES SEGREGADAS	351	MADRE DE DIOS	CALLE	2	41°39'29.2"N 4°43'03.3"W

Todos los puntos seleccionados pertenecen a la zona dos, además se ha intentado escoger puntos de diferentes clúster con el fin de tener mayor diversidad. Para facilitar la posible comparación con las características arquitectónicas en estudios posteriores se han elegido puntos de grabación en los que haya edificios a ambos lados de la calzada.

En la tabla 35 se muestra a que clúster pertenecen los puntos de grabación escogidos atendiendo a los diferentes parámetros analizados en el presente estudio.

Tabla 35. Distribución de los puntos de medida utilizados en el estudio de repetitividad.

FID	CLÚSTER VIARIO	CLÚSTER DE TRÁFICO	CLÚSTER ARQ-TRAF	CLÚSTER PSICOACÚSTICO
861	1	2	2	3
1475	2	2	2	3
1142	1	3	3	1
822	1	2	2	3
983	1	2	1	3

A continuación se muestran los resultados obtenidos durante la etapa de medición, se presentan los 4 días en los que se han tomado medidas, el día 0 corresponde a los resultados utilizados en el análisis presentado anteriormente, realizadas en abril, y los días 1, 2 y 3 corresponden a las medidas tomadas para examinar la repetitividad, grabadas en octubre.

Se ha obviado la hora de fin para simplificar la tabla, esto se ha realizado por que el tiempo de grabación está definido en 15 min y por lo tanto todas las grabaciones terminan dicho tiempo después de la hora marcada como inicio.

Tabla 36. Resultados de las mediciones realizadas en el estudio de repetitividad parte I.

FID	DÍA 0			DÍA 1		
	HORA INICIO	OBSERVACIONES	Nº VEHÍCULOS	HORA INICIO	OBSERVACIONES	Nº VEHÍCULOS
861	9:37	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P:5 C:157 M:7	11:38	Cielo despejado, sensación sonora variada.	P:7 C:165 M:9
1475	10:22	Cielo cubierto, sensación sonora molesta.	P:15 C:208 M:13	12:05	Cielo despejado, sensación sonora molesta.	P:9 C:229 M:16
1142	10:43	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P:2 C:81 M:8	12:26	Cielo despejado, sensación sonora variada.	P:3 C:68 M:6
822	11:05	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P:3 C:150 M:7	12:45	Cielo despejado, sensación sonora variada. Ambulancia (min 1).	P:5 C:110 M:10
983	11:39	Cielo cubierto, sensación sonora molesta.	P:8 C:226 M:4	13:17	Cielo despejado, sensación sonora molesta.	P:5 C:204 M:3

Tabla 37. Resultados de las mediciones realizadas en el estudio de repetitividad parte II.

FID	DÍA 2			DÍA 3		
	HORA INICIO	OBSERVACIONES	Nº VEHÍCULOS	HORA INICIO	OBSERVACIONES	Nº VEHÍCULOS
861	9:33	Cielo cubierto, sensación sonora variada. Ambulancia (min 10).	P:4 C:163 M:3	12:14	Cielo cubierto, sensación sonora variada. Ambulancia (min 11).	P:6 C:171 M:6
1475	11:40	Cielo cubierto, sensación sonora molesta.	P:12 C:193 M:11	10:35	Cielo cubierto, sensación sonora molesta.	P:13 C:189 M:8
1142	10:25	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P:3 C:81 M:6	11:35	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P:13 C:56 M:4
822	11:18	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P:2 C:152 M:10	10:56	Cielo cubierto, sensación sonora variada.	P:4 C:125 M:8
983	9:55	Cielo cubierto, sensación sonora molesta.	P:4 C:201 M:2	11:51	Cielo cubierto, sensación sonora molesta.	P:4 C:167 M:6

Aunque las grabaciones se han realizado en dos estaciones diferentes, las condiciones climatológicas han sido similares en todos los días de grabación. El número de vehículos medidos en un mismo punto durante el tiempo de grabación es muy similar en todas las repeticiones.

Teniendo en cuenta que las características arquitectónicas son idénticas, se ha grabado siempre en el mismo punto, y que las condiciones climatológicas y los parámetros relativos al tráfico son muy similares en todos los casos cabe esperar que los resultados psicoacústicos también sean similares. Para comprobarlo se calculan los percentiles 5, 50 y 95 del loudness y del sharpness. Dichos parámetros se calculan con la ayuda de MATLAB de manera idéntica a como se han calculado anteriormente.

Los resultados psicoacústicos correspondientes al parámetro loudness y el sharpness se presentan en las tablas 38 y 39. La primera pertenece a los resultados relativos al loudness en los diferentes días de grabación y la segunda al sharpness.

Tabla 38. Resultados de los percentiles del loudness en el estudio de repetitividad.

DÍA 0

FID	L5 (sone)		L50 (sone)		L95 (sone)	
	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.
861	9,96	9,74	20,58	22,01	35,31	38,45
1475	14,83	15,06	34,02	34,60	48,43	50,10
1142	9,52	9,36	17,32	17,42	32,80	34,40
822	12,86	13,44	19,96	21,54	31,61	32,43
983	12,96	13,90	23,19	23,52	34,97	35,46

DÍA 1

FID	L5 (sone)		L50 (sone)		L95 (sone)	
	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.
861	15,30	16,71	25,57	27,30	38,05	42,04
1475	15,23	15,98	35,00	35,48	51,41	52,64
1142	10,13	10,59	19,00	19,45	43,24	40,75
822	14,84	15,28	21,92	24,10	38,84	41,06
983	13,27	15,39	19,69	22,20	33,84	30,80

DÍA 2

FID	L5 (sone)		L50 (sone)		L95 (sone)	
	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.
861	10,82	10,02	22,70	23,76	38,96	44,42
1475	17,23	17,11	33,13	33,38	49,15	50,13
1142	9,83	9,81	19,77	19,65	39,58	38,39
822	13,97	14,25	20,25	21,47	31,05	32,25
983	11,47	13,24	19,03	20,83	27,62	28,42

DÍA 3

FID	L5 (sone)		L50 (sone)		L95 (sone)	
	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.
861	10,50	10,10	21,75	23,34	38,07	41,67
1475	11,93	12,52	29,05	29,61	46,96	48,37
1142	8,44	8,95	15,00	16,10	36,80	36,64
822	12,94	13,90	19,59	21,35	31,14	32,84
983	12,29	14,20	19,01	20,99	28,80	31,65

Tabla 39. Resultados de los percentiles del sharpness en el estudio de repetitividad.

DÍA 0

FID	S5 (acum)		S50 (acum)		S95 (acum)	
	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.
861	1,15	1,19	1,33	1,43	1,60	1,78
1475	1,10	1,16	1,31	1,36	1,61	1,70
1142	1,15	1,18	1,35	1,42	1,83	1,87
822	1,14	1,21	1,31	1,41	1,58	1,67
983	1,11	1,17	1,31	1,35	1,59	1,59

DÍA 1

FID	S5 (acum)		S50 (acum)		S95 (acum)	
	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.
861	1,30	1,34	1,44	1,49	1,64	1,74
1475	1,16	1,27	1,35	1,45	1,59	1,75
1142	1,18	1,26	1,38	1,50	1,69	1,85
822	1,20	1,31	1,39	1,52	1,64	1,80
983	1,14	1,30	1,31	1,45	1,52	1,67

DÍA 2

FID	S5 (acum)		S50 (acum)		S95 (acum)	
	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.
861	1,30	1,31	1,47	1,54	1,71	1,86
1475	1,16	1,24	1,38	1,45	1,78	1,79
1142	1,21	1,21	1,43	1,50	1,73	1,86
822	1,16	1,24	1,34	1,43	1,70	1,86
983	1,16	1,23	1,35	1,40	1,65	1,68

DÍA 3

FID	S5 (acum)		S50 (acum)		S95 (acum)	
	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.	CANAL IZQ.	CANAL DCHO.
861	1,19	1,25	1,39	1,47	1,64	1,80
1475	1,14	1,23	1,32	1,42	1,58	1,73
1142	1,12	1,21	1,33	1,46	1,69	1,89
822	1,13	1,20	1,33	1,42	1,63	1,75
983	1,13	1,24	1,34	1,43	1,66	1,74

La mayoría de los puntos de grabación presentan valores parecidos del loudness en los diferentes días en los que se han tomado muestras, si bien hay algún valor que difiere del resto de muestras lo cual puede deberse a algún evento puntual o a un ligero aumento del tráfico. En el sharpness las diferencias son menores, en muchos de los casos la diferencia aparece en el segundo decimal.

Para estudiar la repetitividad se recurre al análisis de medias y desviaciones para cada uno de los puntos de medida.

En el análisis de medias y desviaciones se ha utilizado al método de 6σ , basado en la distribución de Gauss, establece que un proceso sigue un comportamiento normal cuando la muestra tomada cae dentro del límite superior e inferior calculado. Dichos límites se calculan como el valor medio de la muestra $\pm 3\sigma$. Para el cálculo de σ se recurre a la siguiente expresión.

$$\sigma = \frac{Lcs - X}{3}$$

Lcs : Límite de control superior. $Lcs = X + A_2 * R$

X : Valor medio de las muestras tomadas.

R : Recorrido de las muestras. $R = L_{max} - L_{min}$

A_2 : Factor de corrección. Está tabulado y depende del tamaño de la muestra.

Tabla 40. Factor de corrección A_2

n	A_2
2	1,88
3	1,023
4	0,729
5	0,577
6	0,483
7	0,419
8	0,373
9	0,337
10	0,308

Se realiza este análisis para cada uno de los dos parámetros y para las distintas repeticiones de cada uno de los ambientes estudiados. Para la realización de este análisis se ha utilizado el percentil 95 de cada parámetro por el mismo motivo que ha sido usado anteriormente en este estudio.

También se ha realizado un gráfico radial de cada uno de los espacios sonoros con el fin de profundizar en el estudio de la influencia y repetitividad de los diferentes percentiles.

Registro 861

El registro 861 pertenece a la calle Huelgas, perteneciente al clúster psicoacústico 3, caracterizado por tener sonidos fuertes con un alto volumen de ruido, aunque la sensación sonora percibida en este clúster es más bien positiva, ya que los sonidos presentan mayor nitidez y por tanto no se perciben como desagradables.

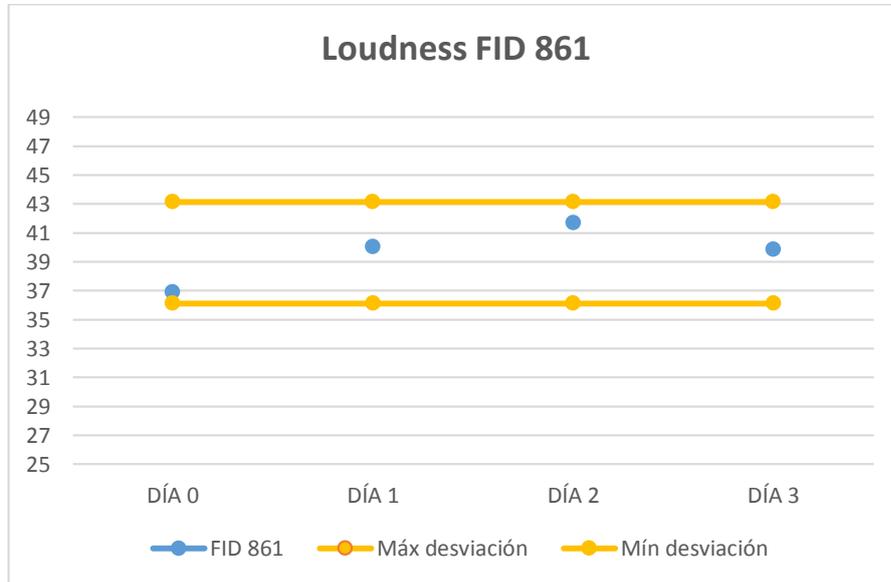


Figura 37. Variación del loudness del registro 861.

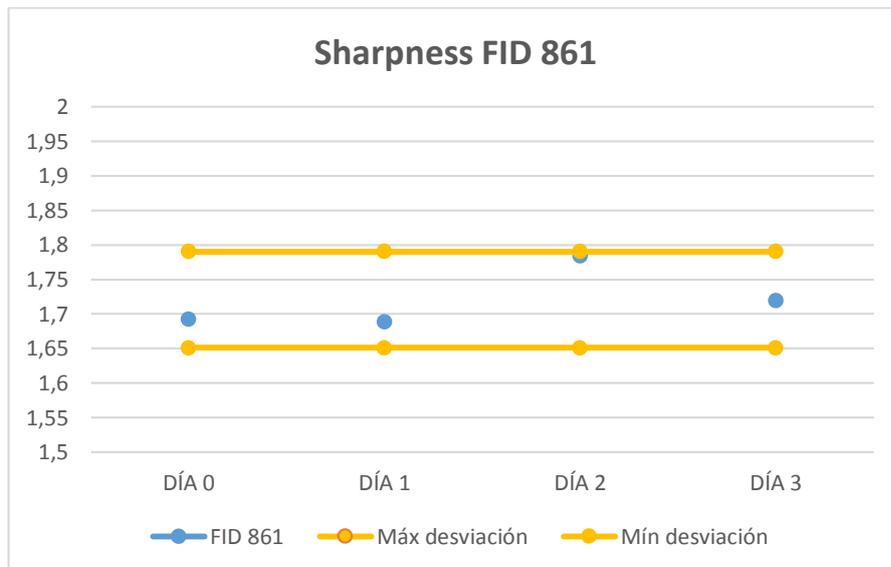


Figura 38. Variación del sharpness del registro 861.

El registro 861 se aprecia cierta estabilidad, la variación máxima del loudness es aproximadamente de 4,5 sonos y en el sharpness el valor se mantiene estable entorno al 1,7 excepto el día 2 que aumenta casi hasta el 1,8. Si se revisa la hoja de toma de datos el día 2 es en el que se contabilizaron menor número de vehículos pesados y de motocicletas, estos son los que generan mayor ruido y producen una sensación más desagradable. Como el sharpness nos ofrece una idea acerca de la agradabilidad del espacio sonoro este día presenta un ligero aumento de este parámetro con respecto a los demás días de grabación, lo que significa una percepción más positiva acerca del espacio sonoro. Por lo tanto, el número de vehículos pesados y de motocicletas pueden tener cierta influencia en la sensación percibida acerca de la calidad del ambiente sonoro.

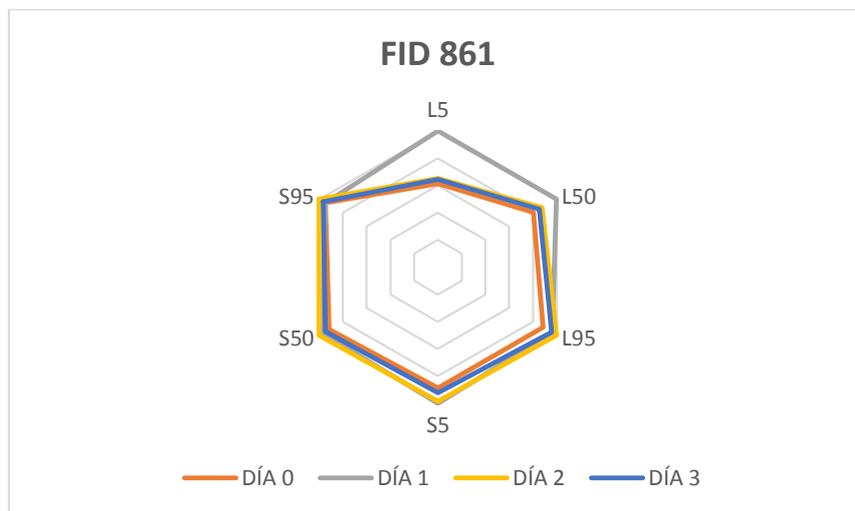


Figura 39. Representación radial del registro 861.

En el gráfico radial se observa que los percentiles de las distintas grabaciones del registro 861 se encuentran muy próximos entre sí, excepto en el percentil 5 del loudness del día 1 que presenta un loudness mayor por lo que ese día la sensación de ruido que se percibe es ligeramente mayor en ciertos momentos.

Los errores relativos que se obtienen entre las diferentes medidas tomadas son un 7% para el loudness y aproximadamente un 3% para el sharpness.

Registro 1475

Dicho registro corresponde a la calle López Gómez, perteneciente también al clúster psicoacústico 3, en el cual se percibe el volumen de ruido más alto. A la hora de realizar las grabaciones en dicho punto, la sensación sonora que se percibe es molesta y con mayor presencia de ruidos desagradables.

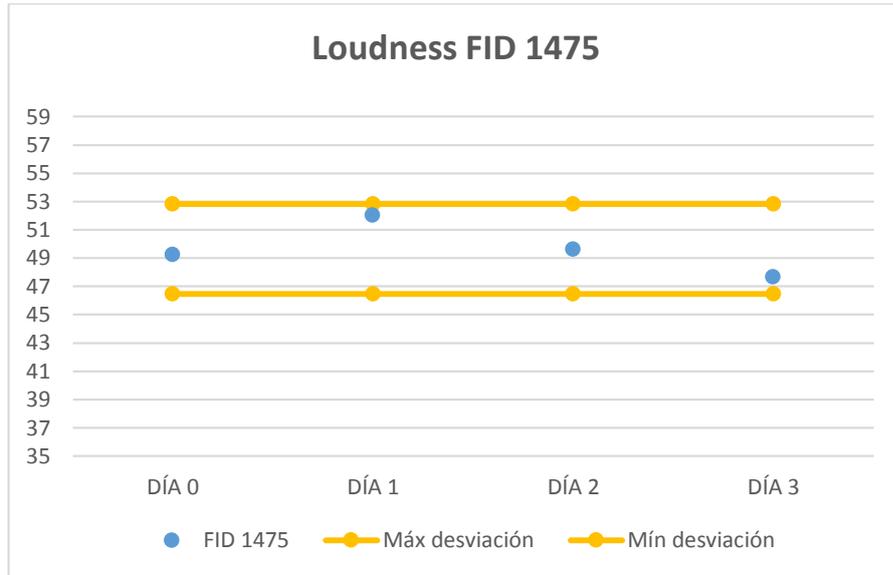


Figura 40. Variación del loudness del registro 1475.

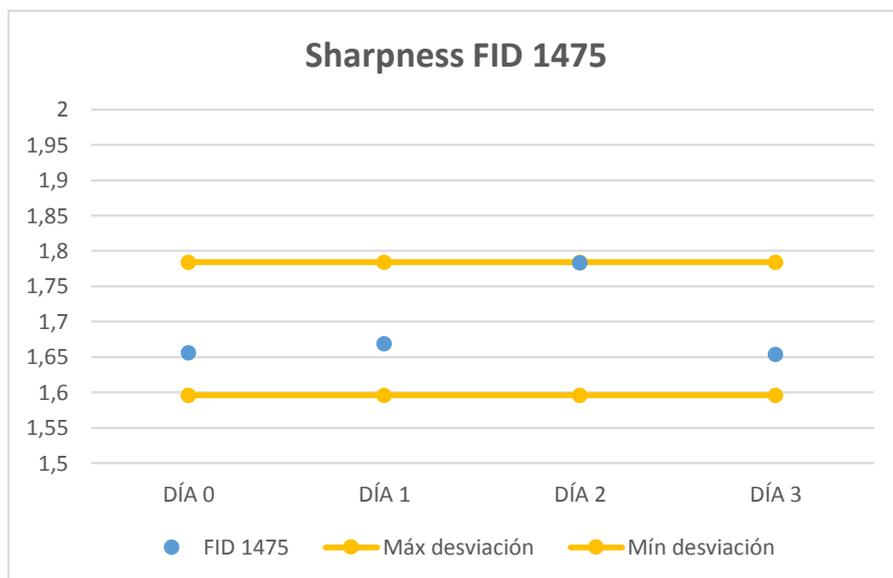


Figura 41. Variación del sharpness del registro 1475.

En este espacio sonoro también se aprecia cierta estabilidad, el loudness se mantiene en el intervalo [47,66 - 52,05]. En el loudness se encuentra una variación máxima de 4 sonos entre los diferentes períodos de grabación. En cuanto al sharpness, tres registros se encuentran muy próximos al 1,65 acum y el registro correspondiente al día 2 es ligeramente superior alcanzando 1,78 acum y situándose cerca del límite de control superior. Si se revisa la hoja de toma de datos no hay ningún factor que presente diferencias que expliquen

este ligero aumento del parámetro, bien es cierto que la diferencia es de tan solo 0,12 acum por lo que no se puede considerar representativa.

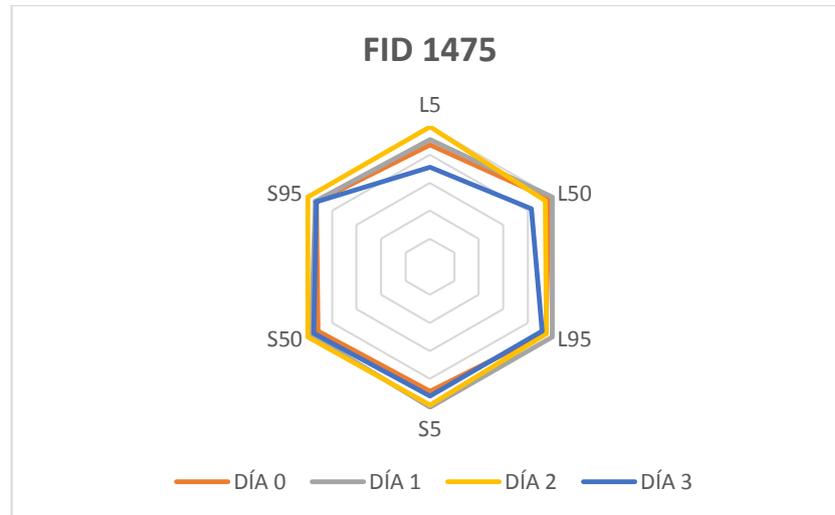


Figura 42. Representación radial del registro 1475.

En el gráfico radial realizado para el registro 1475 se observa una tendencia en todos los parámetros psicacústicos, si bien en el percentil 5 del loudness esta tendencia es menor. Esto se debe a que dicho parámetro refleja el valor por encima del cual se ha encontrado el 5% del tiempo de media y por consiguiente es el que mayor variación puede presentar ya que es el menos representativo del tiempo total de medida. Si se analiza el percentil 95 tanto del loudness como del sharpness se observa que los valores son muy similares en los 4 días en los que se han tomado medidas, este representa el valor por encima de cual ha estado el 95% del tiempo de grabación por lo tanto se puede concluir que dicho registro presenta una estabilidad en cuanto a parámetros psicacústicos se refiere.

En este registro los valores medidos en los diferentes días de grabación son muy similares obteniendo un error relativo de 4% para el loudness y 5% para el sharpness.

Registro 1142

En este caso se trata de la calle Duque de la Victoria que pertenece al clúster psicacústico 1. Este clúster se caracteriza por ser el más agradable de los tres, en él el ruido se percibe como más débil y los sonidos como menos molestos. En él se encuentran los valores del sharpness más altos, lo que indica una percepción de la calidad sonora positiva.

Esto se comprueba a la hora de realizar las grabaciones en dicha calle ya que durante el período de grabación se hace notable la presencia de un ambiente sonoro más agradable que el que se percibe en otros puntos de grabación.

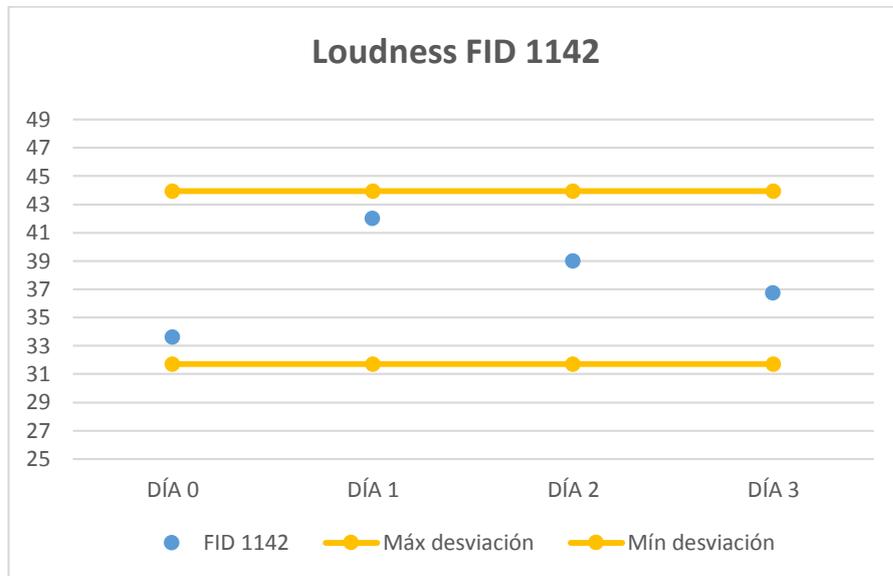


Figura 43. Variación del loudness del registro 1142.

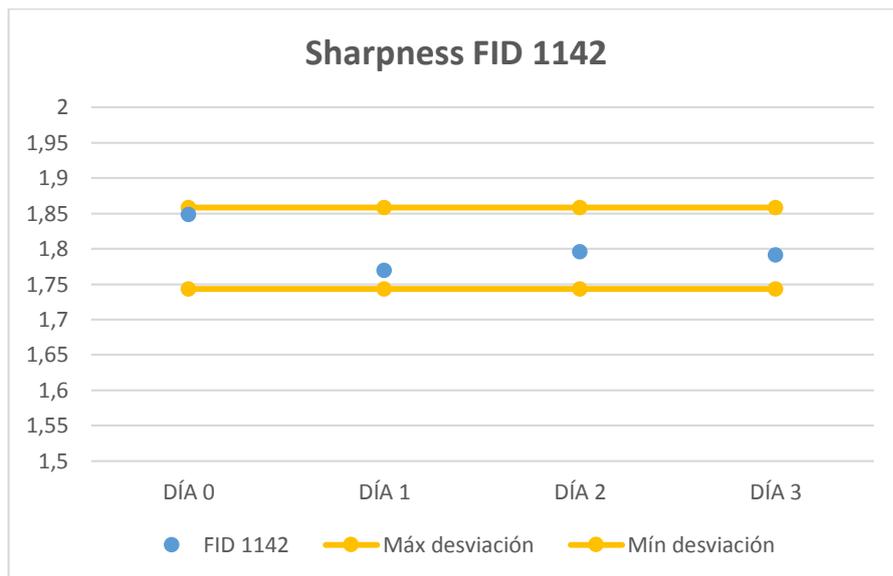


Figura 44. Variación del sharpness del registro 1142.

En el caso del loudness se observa una mayor variación que en los casos anteriores llegando a tener hasta 8 sonos de diferencia, aunque los valores se siguen manteniendo dentro de los límites de control establecidos. Si se analizan los otros dos percentiles del loudness calculados se observa que estos

presentan menor variación entre ellos, presentándose una variación de 4 sonos en el caso del percentil 50 y de dos sonos en el percentil 5. Por otro lado, el sharpness presenta un comportamiento estable con todos los valores muy cercanos a 1,8 acum. Por lo que se puede considerar que el registro 1142 se comporta con cierta estabilidad atendiendo a parámetros psicoacústicos.

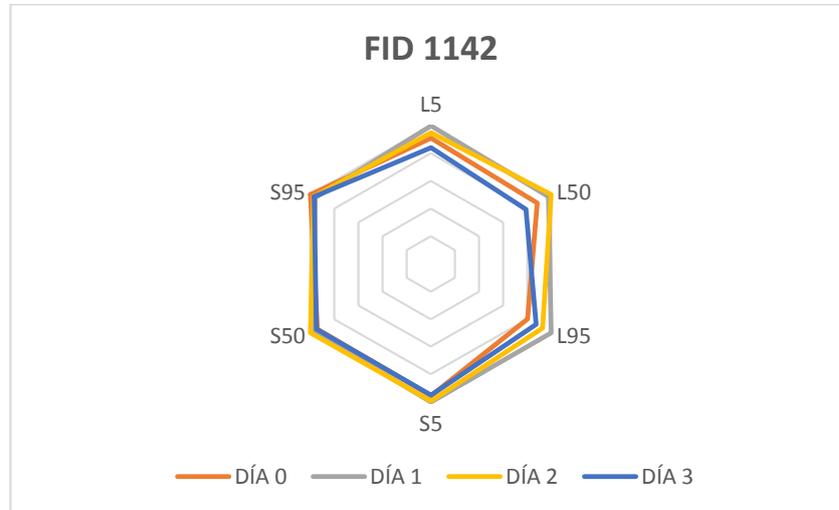


Figura 45. Representación radial del registro 1142.

En el gráfico radial se observa una tendencia en todos los parámetros reafirmando la conclusión de que el registro 1142 presenta una estabilidad en los parámetros psicoacústicos obtenidos en diferentes períodos de tiempo.

En este punto de grabación el loudness presenta mayor variación que en los puntos anteriores presentando un error relativo del 11% aunque el sharpness se mantiene más estable presentando un error relativo inferior al 3%.

Registro 822

El registro 822 corresponde a la calle Gamazo, también perteneciente al clúster psicoacústico 3, que presenta un alto volumen de ruido y alta presencia de ruidos desagradables.

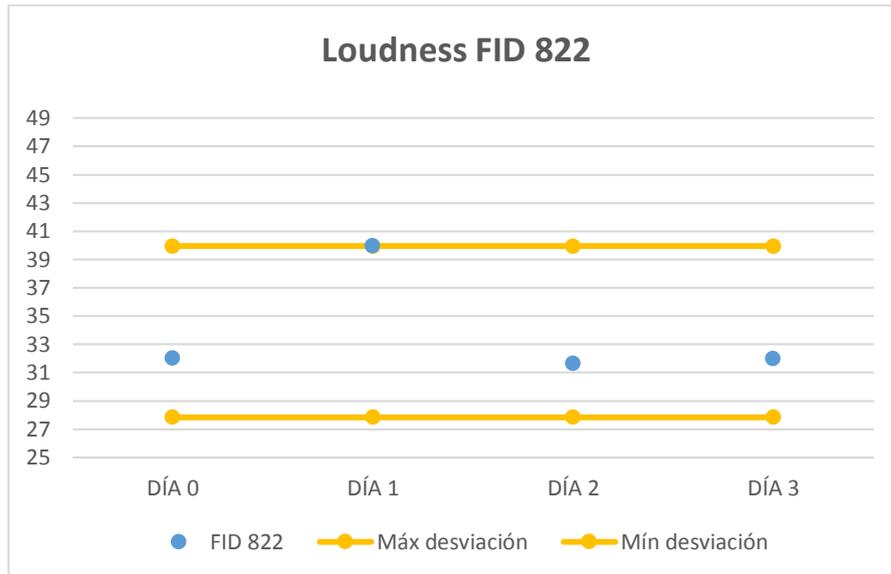


Figura 46. Variación del loudness del registro 822.

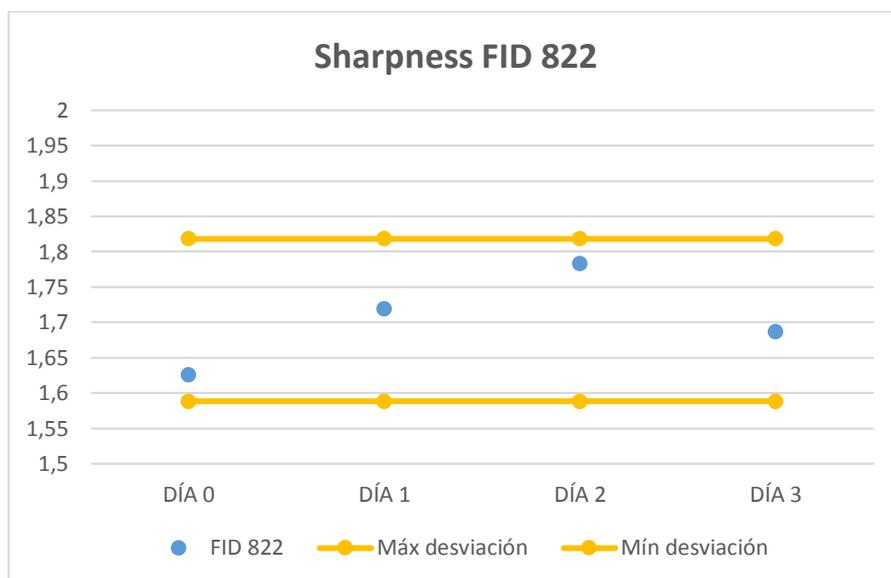


Figura 47. Variación del sharpness del registro 822.

En el loudness se presenta una desviación de 8 sonos. De los cuatro días de grabación tres de ellos tienen un loudness de aproximadamente 32 sonos, y el día 2 presenta un loudness de casi 40 sonos, situándose en el límite de control superior. Este aumento en el nivel de ruido lleva a pensar que ese día han ocurrido eventos excepcionales o diferentes que han provocado ese aumento, pero recurriendo a la hoja de toma de datos no se encuentra ningún aspecto diferente, tan sólo aparece el paso de una ambulancia pero este evento no explica dicho aumento. En el percentil 5 y 50 del loudness la desviación es tan

solo de 2 sonos, por lo que se puede mantener la hipótesis de existencia de una cierta estabilidad en la percepción del ruido en dicha calle. Además, la desviación en el sharpness es de poco más de una décima y todos los valores se encuentran dentro de los límites de control. En la figura 48 se presenta el gráfico radial del registro 822 en el que se observa como todos los parámetros psicoacústicos correspondientes al registro 822 presentan la misma tendencia en los diferentes períodos de grabación, en el que mayores diferencias se presentan es en el percentil 95 del loudness, y por tanto, la desviación de uno de los parámetros medidos en uno de los días de grabación no se considera representativo.

El error relativo es mayor en este registro ya que presenta mayores diferencias en las medidas realizadas, para el loudness presenta una diferencia del 17% y el sharpness de aproximadamente un 4%.

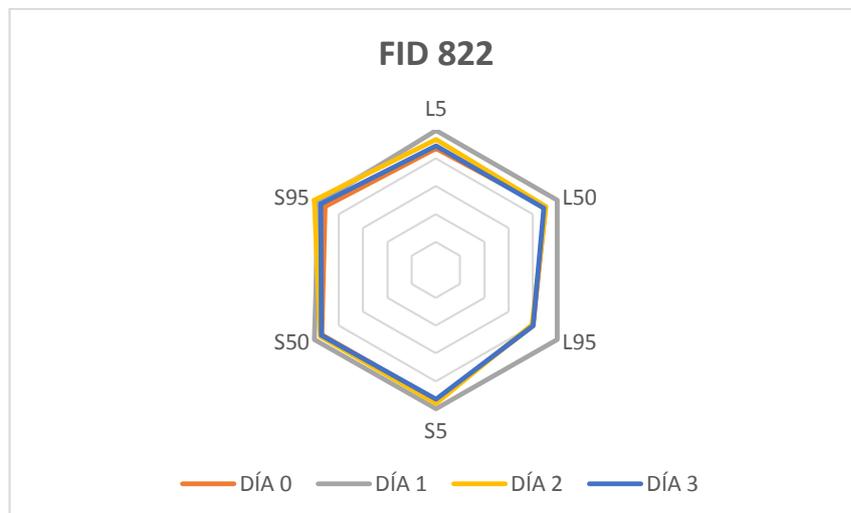


Figura 48. Representación radial del registro 822.

Registro 983

La muestra 983 corresponde a la calle Madre de Dios y pertenece al clúster psicoacústico 3, caracterizado por una sensación psicoacústica molesta como se ha expuesto anteriormente.

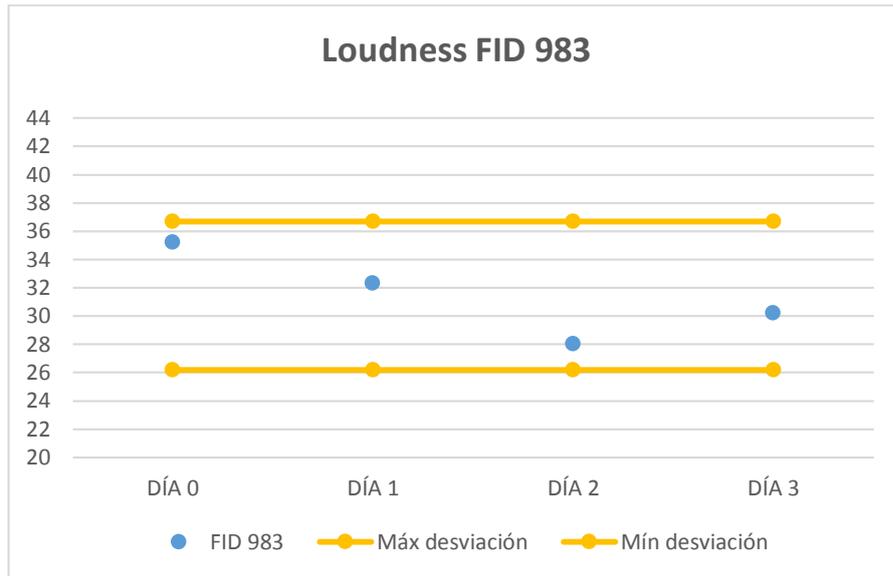


Figura 49. Variación del loudness en el registro 983.

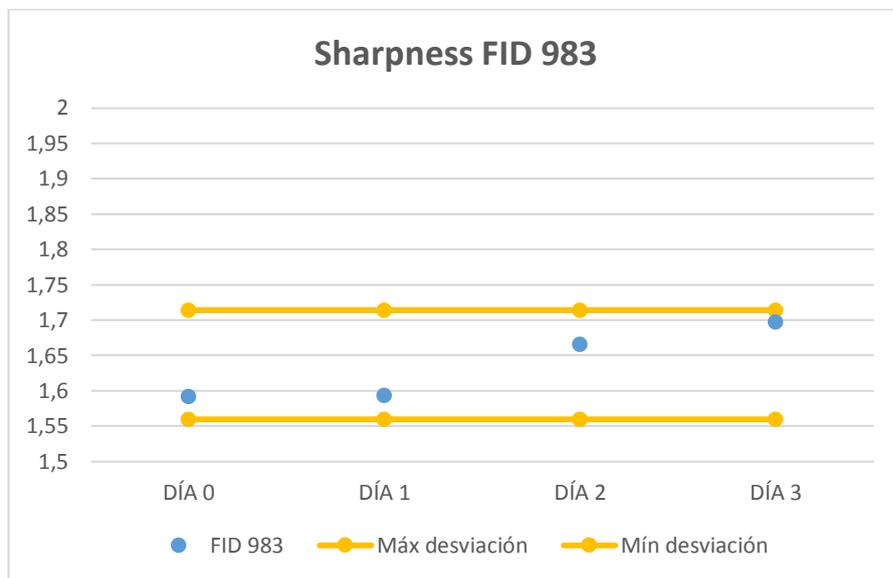


Figura 50. Variación del sharpness en el registro 983.

En el loudness se observa una desviación de 7 sonos, presentándose el mayor valor el día 0. Recurriendo a la hoja de toma de datos se comprueba que ese día se contabilizó un mayor volumen de tráfico que el resto de días de grabación lo cual puede explicar ese aumento en el volumen de ruido. En el sharpness se observa una estabilidad presentando una desviación de tan solo una décima.

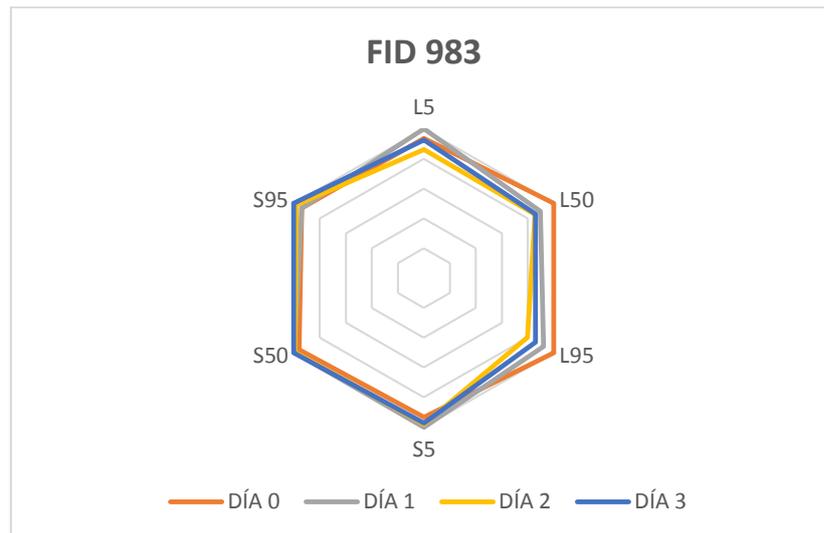


Figura 51. Representación radial del registro 983.

El gráfico radial muestra como hay una estabilidad en las diferentes muestras tomadas correspondientes al registro 983.

En el registro 983 el error relativo del loudness asciende hasta el 11% y el sharpness es inferior al 3%.

En definitiva, la conclusión que deja este estudio de repetitividad es que los parámetros psicoacústicos analizados se mantienen más o menos constantes en diferentes períodos de grabación, si bien el sharpness presenta mayor estabilidad que el loudness con porcentajes de errores relativos inferiores al 5%. Y, por lo tanto, las muestras tomadas un día determinado pueden considerarse representativas de lo ocurrido en dicha calle en otros períodos de tiempo.

14. Conclusiones

El principal objetivo del presente trabajo es la categorización de la ciudad en base a parámetros psicoacústicos y la comparación de dicha categorización con otras realizadas en base a otros parámetros con el fin de buscar correlaciones.

Para conseguir este objetivo es necesario alcanzar una serie de objetivos específicos. A continuación, se van a exponer las conclusiones a las que se ha llegado en cada una de las etapas.

- El primer paso del trabajo ha consistido en la realización de una categorización en base a parámetros viarios, esta clasificación ha permitido desarrollar una estrategia para la selección adecuada de los puntos de medida. Además, también se ha desarrollado una categorización en base a parámetros de tráfico y a parámetros arquitectónicos y de tráfico, las cuales han sido llevadas a cabo tras la realización de las grabaciones. Esta etapa supone el punto de partida del trabajo.
- El segundo paso fue la realización de las grabaciones sonoras en los puntos seleccionados y el procesado de las muestras para la obtención de los parámetros psicoacústicos. El cálculo de los parámetros del loudness y el sharpness se realizó con MATLAB. Para comprobar la bondad del procedimiento se realizó una comparación de los resultados obtenidos con MATLAB con los resultados obtenidos con el programa de Brüel & Kjaer, un programa de cálculo específico para esta finalidad. Los resultados llevan a la conclusión de que la elección de MATLAB como programa para el cálculo de los parámetros psicoacústicos es adecuado, ya que las diferencias que se obtienen son pequeñas, para el loudness es de tan sólo un sono y para el sharpness las diferencias aparecen en el segundo decimal. Cuando se intenta calcular el roughness y el fluctuation strength se observa la necesidad de normalización de estos parámetros, ya que dependiendo del método de cálculo utilizado se obtienen resultados de un orden de magnitud muy diferente lo que hace ineficaz su cálculo y dificulta su análisis.
- Con los parámetros subjetivos calculados se realizan varias categorizaciones para poder analizar cuál de ellas presenta mejores resultados. Tras probar con 3, 4, 5 y 6 clústers se llega a la conclusión de que la mejor clasificación de los registros se obtiene dividiendo estos en 4 clústers. Por consiguiente, con los datos que se tienen, se puede concluir que psicoacústicamente la ciudad de Valladolid se puede

considerar dividida en 4 zonas. Aunque como no hay mucha diferencia con la clasificación en 3 clústers se va a trabajar con esta última.

- Para realizar la comparación de nuestros resultados con los obtenidos cuando se consideran otro tipo de parámetros (viarios, de tráfico...) se ha utilizado la división de la muestra en 3 clústers, que es la utilizada en estos casos. Esta categorización en base a parámetros psicoacústicos divide la ciudad en 3 zonas psicoacústicas que se caracterizan por lo siguiente:
 - Clúster 1: en él se encuentran los valores del loudness más bajos y del sharpness más altos por lo que es la zona en la que se percibe una sensación sonora más positiva y agradable.
 - Clúster 2: caracterizado por valores medios de loudness y bajos del sharpness. En él la sensación acústica percibida es ligeramente molesta.
 - Clúster 3: se caracteriza por los valores del loudness altos y el sharpness varía entre valores medios. Los altos valores del loudness indica que predominan los niveles de ruido altos por lo que la sensación sonora en esta zona es molesta.
- Posteriormente, se realiza la comparación de las diferentes categorizaciones.
 - El primer análisis consiste en comparar la categorización en función de parámetros acústicos con la realizada en base a parámetros psicoacústicos. En este análisis se observa que existe una relación entre el nivel de presión sonora y el nivel del loudness. A mayor nivel de presión sonora se obtienen valores más altos del loudness y se genera una sensación sonora más desagradable.
 - En cuanto al análisis entre la categorización atendiendo a parámetros viarios y a parámetros psicoacústicos no se observa una relación clara entre ambas categorizaciones.
 - En la comparación entre la categorización en función de parámetros de tráfico y la categorización en función de parámetros psicoacústicos se observa una relación entre el volumen de tráfico y las sensaciones sonoras percibidas (a

mayor volumen de tráfico se percibe una sensación sonora más molesta, y a un menor volumen de tráfico la sensación sonora es, por lo general, más agradable).

- Entre la categorización en función de parámetros arquitectónicos y la categorización en función de parámetros psicoacústicos, no se ha encontrado una relación clara entre las características de ambos parámetros.
- El estudio de repetitividad arroja la conclusión de que las medidas tomadas un día determinado son representativas de lo ocurrido en dicho punto en otros intervalos de tiempo. No se obtiene una gran desviación de los parámetros calculados y en líneas generales las condiciones psicoacústicas de cada punto se mantienen, percibiéndose las mismas sensaciones sonoras.

15. Líneas futuras

La psicoacústica es una ciencia en la que todavía queda mucho por hacer. El estudio llevado a cabo en este trabajo es un primer paso para la caracterización subjetiva de la ciudad de Valladolid en la que se tienen en cuenta parámetros psicoacústicos.

Durante el desarrollo del estudio se han observado varias líneas a seguir con las que ampliar el presente trabajo y profundizar en el análisis de parámetros subjetivos, las cual se detallan a continuación.

- Ampliar el análisis de la categorización en función de otros parámetros psicoacústicos de la ciudad de Valladolid introduciendo los parámetros roughness y fluctuation strength. Para ello sería conveniente que dichos parámetros se estandarizaran.
- Realizar *listening tests* [28]. Es un método de evaluación de la percepción subjetiva. Son pruebas realizadas a personas en las que se les hace escuchar unas grabaciones realizadas en un determinado paisaje sonoro, utilizando para ello auriculares y situadas dentro de una cámara semianecoica. El objetivo de dichas pruebas es establecer relaciones entre los parámetros psicoacústicos y las sensaciones percibidas por las personas.
- Realizar estudios similares en otras ciudades y compararlos con el fin de analizar las diferencias en términos psicoacústicos entre diferentes ciudades.
- Analizar otros parámetros arquitectónicos (como pueden ser los materiales utilizados en la construcción) con el objetivo de buscar correlaciones entre estos y los parámetros psicoacústicos. Si se consigue encontrar una relación clara entre los parámetros arquitectónicos y las sensaciones psicoacústicas que estos producen se podrán diseñar ciudades con una mayor calidad sonora.
- A partir de las correlaciones obtenidas entre los parámetros utilizados (tráficos, viarios...) y los parámetros psicoacústicos, realizar una extrapolación de los resultados obtenidos a otros paisajes sonoros sin la necesidad de realizar grabaciones.

16. Bibliografía.

- [1] “Efectos y normativa.” [Online]. Available: http://www.ehu.eus/acustica/espanol/ruido/efectos_y_normativa/efectos_y_normativa.html. [Accessed: 01-Nov-2018].
- [2] EL PARLAMENTO EUROPEO Y EL CONSEJO DE LA UNIÓN, “DIRECTIVA 2002/49/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.” .
- [3] I. López Barrio and J. Domingo Guillén Rodríguez, “Calidad acústica urbana: influencia de las interacciones audiovisuales en la valoración del ambiente sonoro Urban sound quality: influence of audio-visual interactions on sound environment assessment,” *Medio Ambient. Comput. Hum*, vol. 6, no. 1, pp. 101–117, 2005.
- [4] B. De Coensel and D. Botteldooren, “The Rhythm of the Urban Soundscape,” *Noise Vib. Worldw.*, vol. 38, no. 9, pp. 11–17, Oct. 2007.
- [5] “WORLD SOUNDSCAPE PROJECT.” [Online]. Available: <https://www.sfu.ca/~truax/wsp.html>. [Accessed: 01-Nov-2018].
- [6] R. M. Schafer, “New Soundscape,” 1974.
- [7] R. M. Schafer, *The book of noise*. 1970.
- [8] R. M. Schafer and World Soundscape Project., *The Vancouver soundscape*, no. no 2. World Soundscape Project, Sonic Research Studio, Dept. of Communication, Simon Fraser University, 1978.
- [9] R. M. Schafer, *European sound diary*. 1977.
- [10] R. M. Schafer, B. Davis, and B. Truax, *Five village soundscapes*, no. no 4. A.R.C. Publications, 1977.
- [11] B. K. Bartle, “The Tuning of the World,” *J. Res. Music Educ.*, vol. 25, no. 4, pp. 291–293, 1977.
- [12] World Soundscape Project. and B. Truax, *The World Soundscape Project’s Handbook for acoustic ecology*. A.R.C. Publications, 1978.
- [13] M. Southworth, “The Sonic Environment of Cities,” *Environ. Behav.*, vol. 1, no. 1, pp. 49–70, Jun. 1969.
- [14] D. De la Prida Caballero *et al.*, “CARACTERIZACIÓN SUBJETIVA DE PAISAJES SONOROS DE MADRID”. 48º CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA. no. Octubre 2017.
- [15] A. Ra, “PAISAJE SONORO URBANO ‘ SOUNDWALK ’ COMO MÉTODO DE ANÁLISIS INTEGRAL Urban sound landscape ‘ Soundwalk ’ as a method of integral analysis,” pp. 41–56, 2016.
- [16] M. Bravo *et al.*, “PERCEPCIÓN DEL RUIDO POR LOS CIUDADANOS: RELACIONES DOSIS-EFECTO Y COSTE-BENEFICIO.” 40º CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA. no Octubre 2009.
- [17] “Iberacustica | Ingeniería y Servicios en Acústica | Medicion de Ruido |

- Insonorización | Qué es un mapa de ruido.” [Online]. Available: <https://www.iberacustica.com/faq/que-es-un-mapa-de-ruido/>. [Accessed: 01-Nov-2018].
- [18] P. Ruiz García, “Clasificación y análisis de paisajes sonoros de calles de Valladolid.” 2018. Universidad de Valladolid.
- [19] “¿Qué es un SIG? | SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.” [Online]. Available: <https://langleruben.wordpress.com/¿que-es-un-sig/>. [Accessed: 02-Nov-2018].
- [20] D. I. y Comunicaciones, “Plan Integral de Movilidad Urbana Ciudad de Valladolid (PIMUVA) - Ayuntamiento de Valladolid.”
- [21] L. Ley and P. Europeo, “BOE-A-2005-20792-consolidado,” pp. 1–15, 2007.
- [22] BOE, “Ley 37/2003, del Ruido,” p. 20, 2003.
- [23] “NPS (nivel de presión sonora) - musiki.” [Online]. Available: [http://musiki.org.ar/NPS_\(nivel_de_presión_sonora\)](http://musiki.org.ar/NPS_(nivel_de_presión_sonora)). [Accessed: 09-Nov-2018].
- [24] “Psicoacústica.” [Online]. Available: <http://www.eumus.edu.uy/docentes/maggiolo/acuapu/int.html>. [Accessed: 02-Nov-2018].
- [25] “Acoustics-Methods for calculating loudness-Part 1: Zwicker method Acoustique-Méthode de calcul du niveau d’isotonie-Partie 1: Méthode de Zwicker COPYRIGHT PROTECTED DOCUMENT,” 2017.
- [26] F. Chartier and C. Semidor, “Evaluation of sound environment characteristics: Comparative study between objective and subjective criteria,” *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 117, no. 4, pp. 2593–2593, Apr. 2005.
- [27] T. Dalglish *et al.*, [*No Title*], vol. 136, no. 1. 2007.
- [28] C. Monteiro and M. Machimbarrena, “LOS LISTENING TEST COMO MÉTODO DE VALORACIÓN SUBJETIVA E IMPLEMENTACIÓN DE SOFTWARE DE EVALUACIÓN”. 45º CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA. no. October, 2014.